共 同 研 究 報 告 書
整 理 番 号 第 ５１９ 号

道路土工構造物ボックスカルバート用プレキャストコンクリート製品の継手構造及び耐久性評価に関する共同研究報告書（Ⅰ）

－機械式継手が同一断面に集中したプレキャスト部材接合部の曲げ挙動－

令和 **2** 年 **7** 月

国立研究開発法人土木研究所
一般社団法人道路プレキャストコンクリート製品技術協会

Copyright © (2020) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は，国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって，この報告書の全部又は一部の転載，複製は，国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共 同 研 究 報 告 書
第 519 号 2020 年 7 月

道路土工構造物ボックスカルバート用プレキャストコンクリート製品の継手構造及び耐久性評価に関する共同研究報告書（Ⅰ）

－機械式継手が同一断面に集中したプレキャスト部材接合部の曲げ挙動－

国立研究開発法人土木研究所
先端材料資源研究センター
材料資源研究グループ

グループ長　渡辺　博志
（～2019 年 3 月）
グループ長　西崎　　到
上席研究員　古賀　裕久
主任研究員　中村　英佑
（～2019 年 6 月）
主任研究員　櫻庭　浩樹

一般社団法人道路プレキャストコンクリート製品技術協会

指針部会長　井上　幸一
カルバート工分科会長　高松　芳徳
擁壁工分科会長　吉田　辰也
委員　虻川　真大
委員　山嵜　敦

要　旨

近年、コンクリート構造物の建設における生産性向上が重要な課題となっており、プレキャスト部材のさらなる活用が期待されている。プレキャスト部材が大型化した場合には、複数のプレキャスト部材を機械式継手で接合することがあり、生産性向上の観点からは、機械式継手を同一断面に集中させて配置することが望ましい。しかし、機械式継手を同一断面に集中して配置することが部材接合部の耐荷性状に及ぼす影響は必ずしも明確ではなかった。そこで、機械式継手を同一断面に集中して配置したプレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験および機械式継手単体の特性評価試験を行い、同一断面への集中した配置が、部材接合部の静的耐力、変形挙動、ひび割れ性状に及ぼす影響を検討した。

キーワード：プレキャスト部材、機械式継手、同一断面、静的耐力、変形挙動、ひび割れ性状

目次

1　はじめに……1

1.1　背景と目的……1

1.2　検討項目の整理……3

1.3　本報告書の構成……6

2　曲げ載荷実験の試験体接合部に用いた機械式継手単体の特性評価試験……7

2.1　試験方法……7

2.2　試験結果と考察……10

2.2.1　小型試験体に用いた機械式継手……10

2.2.2　中型試験体に用いた機械式継手……14

2.2.3　大型試験体に用いた機械式継手……18

3　プレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験方法……22

3.1　曲げ載荷試験に用いた試験体……22

3.2　載荷方法……30

3.3　設計式との比較……38

4　プレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験の結果と考察……39

4.1　試験体に用いたコンクリートの強度と静弾性係数……39

4.2　静的耐力……42

4.3　変形挙動……47

4.4　ひび割れ性状……50

5　まとめ……60

参考文献……62

参考資料1　各施工段階での確認及び記録事項の例……63

参考資料2　各施工段階での検査事項の例……65

参考資料3　荷重－スパン中央たわみ関係……67

参考資料4　軸方向ひずみ分布……73

参考資料5　ひび割れスケッチ……93

参考資料6　機械式継手部の解体調査……114

1　はじめに

1.1　背景と目的

建設業の技能労働者は、今後、大幅に減少することが予測されている。例えば、2014 年度を基準とすると、技能労働者 343 万人の内、2025 年度までに 50 歳以上の技能労働者が 109 万人離職するとの報告もある[1)]。このような社会情勢を踏まえて、国土交通省では、2015 年から i-Construction と呼ばれる施策を行っている。i-Construction では、「ICT の全面的な活用（ICT 土工）」、「全体最適の導入（コンクリート工の規格の標準化等）」、「施工時期の平準化」の 3 つのトップランナー施策を掲げ、建設業全体で生産性を向上させることを目指している[2)]。

トップランナー施策の対象であるコンクリート工は、30 年以上前から生産性が横ばいであることが指摘されていた[3)]。このため、現場打ちコンクリートについては、流動性を高めたコンクリート[4)]や機械式定着工法[5)]等に関するガイドラインが整備され、これらの技術の導入促進が図られた[6)]。

一方、工場等で製作したプレキャストコンクリート（以下、PCa と称す）部材を現場で接合して構造物を構築する PCa 工法は、現場での作業を省力化でき、また、天候等の影響を受けずに高品質な部材を製造できると期待されることから、生産性向上の一手法として関心が高まっている。

PCa 工法を用いて構築されるコンクリート構造物の設計・施工では、現場打ちコンクリートの場合にはない接合部への配慮が重要である。例えば、**図 1-1** のように、複数の PCa 部材を機械式継手で接合してボックスカルバートを構築する場合、生産性向上の観点からは、機械式継手を同一断面に集中させて配置することが望ましい。しかし、従来の現場打ちコンクリートでは、鉄筋の継手は、構造上の弱点にならないように、同一断面に集中させないことが常識であり、これに対する留意事項は必ずしも明確ではなかった。

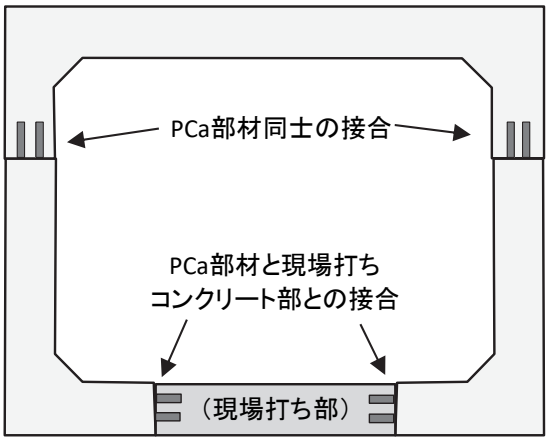


図 1-1　機械式継手を用いたプレキャスト部材で構築されるボックスカルバートの例

機械式継手は、継手単体としての強度試験などで母材以上の強度が確認されており、適切に施工されていれば、部材接合部の静的耐力に及ぼす影響は小さいと考えられる[7]。一方、機械式継手は鉄筋と比較して形状が大きいことから、機械式継手を同一断面に集中して配置すると断面に占める鋼材の割合が局所的に大きくなり、周辺の部分と曲げ剛性に差異が生じることに起因して、ひび割れ性状や変形挙動に影響が生じるおそれがある。土木学会の鉄筋定着・継手指針（2020 年版）においても、機械式継手を同一断面に集中して配置した場合には、実験等によって、使用性や耐久性に及ぼす影響を考慮する必要があることが述べられている[8]。

そこで、土木研究所と道路プレキャストコンクリート製品技術協会は共同研究を実施し、機械式継手の種類および鉄筋中心間隔等を変更した PCa 部材接合部の曲げ載荷実験を行い、継手が無い場合と比較することで、同一断面に集中した機械式継手が、静的耐力、変形挙動、ひび割れ性状に及ぼす影響を検討した。

その結果が、道路プレキャストコンクリート工技術委員会ガイドライン検討小委員会で検討され、「プレキャストコンクリート構造物に適用する機械式鉄筋継手工法ガイドライン」として示されている[9]。なお、この委員会は、国土交通省が設置した生産性向上検討協議会において提案された「プレキャストの活用範囲の拡大に関する要素技術」を検討するために設置されたものである。

本報告書は、このガイドラインを作成するために実施した検証実験の結果をとりまとめたものである。

1.2　検討項目の整理

接合部の曲げ挙動

機械式継手による接合部は、機械式継手単体の特性の影響を受けるため、機械式継手による接合部の設計にあたっては、その影響を適切に考慮する必要がある。

土木学会の鉄筋定着・継手指針（2020 年版）では、静的耐力、使用性、耐久性等について、継手の影響を考慮せずにコンクリート標準示方書に準ずる方法で照査できる条件を示している[8)]。

静的耐力については、機械式継手の継手の集中度（1/2 以下、1/2 より大）および信頼度に応じて、機械式継手の引張降伏強度の設計値を設定することが示されている。すなわち、条件によっては、機械式継手の引張降伏強度が低減され、配筋量を増加させる必要があることを意味する。しかし、接合部の配筋量を増加させることは煩雑であり、材料費や製品製造の手間も増大するなどして、生産性向上の効果が得られないおそれがある。そこで、継手の信頼度を確保するために重要な、施工時の品質管理や検査の留意点を整理することが必要と考えた。また、継手が集中することで、圧縮側コンクリートの破壊性状に悪影響がないことなども確認する必要があると考えた。

使用性と耐久性については、機械式継手を同一断面に集中させるとその部分のみ断面に占める鋼材の割合が局所的に大きくなり、周辺の部分と曲げ剛性に差が生じ得るため、継手部近傍に変形が集中するおそれやひび割れを誘発して耐久性に影響を及ぼすおそれがあることが述べられているが、これらを考慮する具体的な条件は明記されていない。

以上から、機械式継手を同一断面に集中して配置した接合部について、静的耐力、変形挙動（使用性）、ひび割れ性状（耐久性）を検討する必要があると考えられた。また、継手の信頼度を高めるための取り組みとして、施工・検査の具体的な方法について機械式継手メーカーにヒアリングして調査し、その結果を**参考資料 1,2** にとりまとめた。これらの参考資料を基に、具体的な方法を定めて施工・検査を確実に行うことで、信頼度 I（信頼性の高い方法による全数検査で全数合格が目安）に相当する品質を確保できると考えられる。

機械式継手の仕様に関する着眼点と調査

機械式継手の等級は、土木学会の鉄筋定着・継手指針（2020 年版）において、SA 級、A 級、B 級および C 級に分類され、それぞれ、以下のように定義されている。

SA 級：強度、剛性、伸び能力がほぼ母材鉄筋に相当する。

A 級：強度、剛性は母材鉄筋に相当するが、その他の特性は母材鉄筋よりも劣る。

B 級：強度はほぼ母材鉄筋並であるが、その他の特性は母材鉄筋よりも劣る。

C 級：強度、剛性等も母材鉄筋よりも劣る。

一方、同じ等級の機械式継手でも、その種類（力を伝達する方法）によって、特性に差があるものと考えられる。曲げ載荷試験で接合部の挙動を確認するにあたっては、PCa 部材の接合に用いられる標準的な機械式継手単体の特性を把握した上で、特性の異なる複数の継手を用いて比較する必要がある。

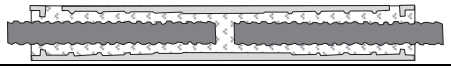
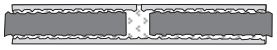
また、機械式継手は、鉄筋を接合するスリーブやカプラーを有するため、継手部は使用する鉄筋よりも外径が大きくなる。よって、機械式継手を同一断面に集中させると、断面に占める鋼材の割合が局所的に大きくなり、周辺の部

分と曲げ剛性に差が生じることに起因して接合部の挙動に影響を及ぼすおそれがある。既往の研究では、モルタル充填継手を同一断面に集中して配置した場合に、その端部において算定値よりも大きい曲げひび割れが生じたことも報告されている [10)]。継手単体の力学的特性が高いものは継手の形状（外径や長さ）が大きくなっている可能性があり、ひびわれ性状を考慮すると、力学特性の高い継手の使用が良いか検討の余地がある。

以上から、PCa 部材接合部の曲げ載荷実験に使用する機械式継手を選定するために、市場に流通している機械式継手の等級、外径および長さを、機械式継手メーカーへのヒアリングにより調査した。ここで、調査した機械式継手の仕様の例（D32）を**表 1-1** に示す。

機械式継手の種類は、PCa 部材同士の接合に用いられることが多い「モルタル充填継手」および PCa 部材と現場打ちコンクリート部の接合に用いられることが多い「ねじ節鉄筋継手」を対象とした。なお、ねじ節鉄筋継手はタイプ 1 とタイプ 2 に分類して調査した。タイプ 1 は、タイプ 2 よりも軸方向のねじピッチが広く、両端が固定されたねじ節鉄筋の接合が容易になるように配慮された仕様である。結果として、メーカー等の異なる A～K の 11 種の継手についてデータを収集することができた。また、調査した機械式継手の等級は、SA 級または A 級であり、B 級、C 級として流通する製品は認められなかった。

表 1-1　調査した機械式継手の仕様の例（D32）

名称	継手種類	継手等級
A	モルタル充填継手 	A
B		SA
C		A
D	ねじ節節鉄筋継手タイプ 1 	A
E		A
F		A
G		A
H	ねじ節鉄筋継手タイプ 2	A
I		A
J		A
K		A

ヒアリング結果の一例として、鉄筋径 D32 の場合の各機械式継手のスリーブやカプラーの外径を**図 1-2**、長さを**図 1-3** に示す。機械式継手の外径は、モルタル充填継手が大きく、ねじ節鉄筋継手タイプ 1 とタイプ 2 は同程度であった。また、同種の継手であれば、製品の違いによる外径の差は小さいことがわかった。

機械式継手の長さは、モルタル充填継手、ねじ節鉄筋継手タイプ 1、タイプ 2 の順に長い傾向にあった。また、モルタル充填継手 B は SA 級、それ以外は A 級であり、同じ種類であっても等級が上位だと継手が長い場合があることがわかった。

以上の結果から、各種類の機械式継手で外径が異なること、継手単体の力学的特性が高いものは継手が長い場合があることを確認できた。接合部の曲げ挙動を確認するにあたっては、機械式継手単体の特性だけでなく、形状の特徴も踏まえて機械式継手を選定することも重要であり、2 章以降では、PCa 部材同士の接合に用いられるモルタル充填継手として B、C、PCa 部材と現場打ちコンクリート部材を接合するねじ節鉄筋継手として F、J を選定して検討を行った。

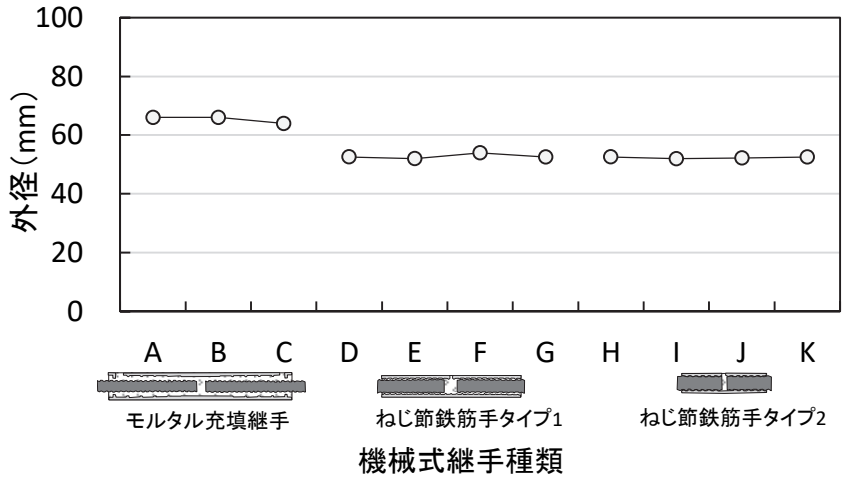


図 1-2　各機械式継手の外径（D32）

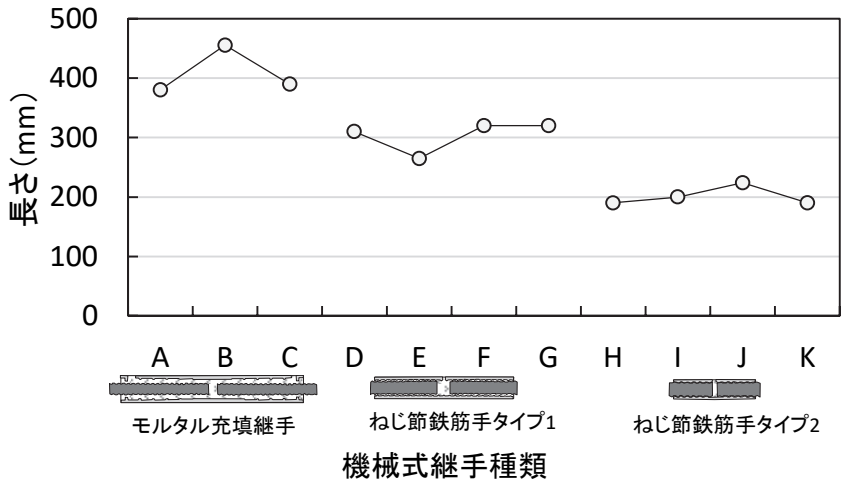


図 1-3　各機械式継手の長さ（D32）

1.3　本報告書の構成

本報告書の構成を**図-1-4** に示す。

第 2 章では、曲げ載荷試験に用いた機械式継手単体の特性を評価した。機械式継手には、プレキャスト部材同士の接合を想定したモルタル充填継手を 2 種類、プレキャスト部材と現場打ちコンクリート部材の接合を想定したねじ節鉄筋継手を 2 種類、合計 4 種類を用いた。

第 3 章では、プレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験の方法を示した。曲げ載荷実験に用いた試験体は、機械式継手の種類、鉄筋中心間隔、かぶり、試験体の寸法をパラメータとして製作した。載荷方法は、一方向の繰返し載荷とし、鉄筋の応力レベルに着目して載荷を制御した。

第 4 章では、プレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験の結果として、静的耐力、変形挙動、ひび割れ性状を示した。結果の整理にあたっては、継手が無い部材と比較し、同一断面への機械式継手の配置が及ぼす影響に着目した。

最後に、第 5 章では、第 2 章から第 4 章のまとめを述べた。

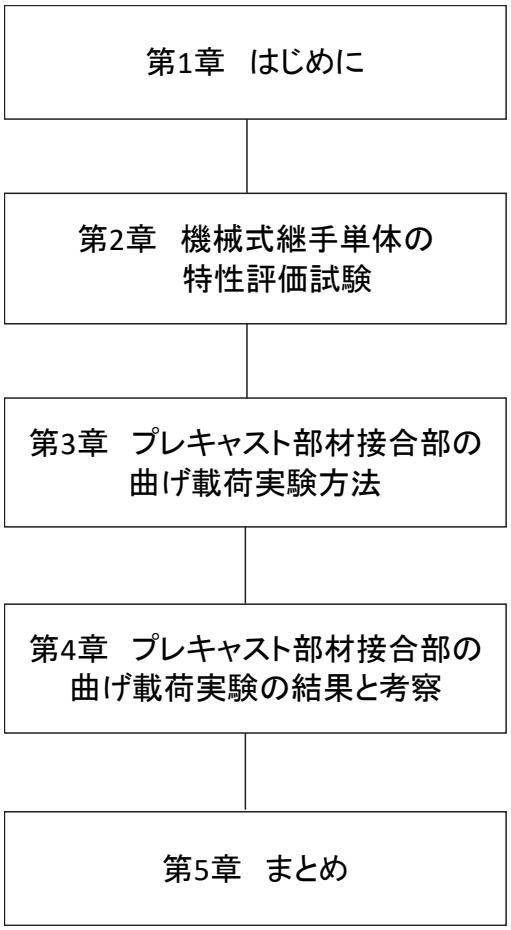


図 1-4　本報告書の構成

2　曲げ載荷実験の試験体接合部に用いた機械式継手単体の特性評価試験

2.1　試験方法

1.2 節で整理したとおり、機械式継手の形状がひび割れ性状に影響を及ぼすことも考えられため、この影響を検討できるように、市場で一般に使用されている機械式継手において、形状が小さいものから大きいものを選定した。曲げ載荷実験の試験体に用いた機械式継手を**表 2-1** 示す。PCa 部材同士の接合を想定したモルタル充填継手として G1（**表 1-1** の B）、G2（**表 1-1** の C）、PCa 部材と現場打ちコンクリート部との接合を想定したねじ節鉄筋継手として T1（**表 1-1** の J）、T2（**表 1-1** の F）を選定した。これらの機械式継手の形状（外径、長さ）の大きさは、G1＞G2＞T 2＞T1 の順である。なお、ねじ節鉄筋継手の T1 と T2 は、それぞれ、1.2 節で述べたタイプ 2、タイプ 1 に該当する。

試験に用いた機械式継手および鉄筋の例をそれぞれ、**図 2-1** および**図 2-2** に示す。機械式継手単体の特性を把握するため、SD345 の各鉄筋（D16、D19、D22、D29、D35、D41）の鉄筋を用いて、土木学会の鉄筋定着・継手指針（2007 年版）に準拠して [11]、一方向引張試験、弾性域正負繰返し試験、塑性域正負繰返し試験および高応力繰返し試験を実施した（**図 2-3**）。第 3 章で後述するとおり、D16 と D19 は小型試験体、D22 と D29 は中型試験体、D35 と D41 は大型試験体に用いた。なお、試験当時は、鉄筋定着・継手指針（2007 年版）に基づいて試験を実施したが、同指針の最新版（2020 年版）では、弾性域正負繰返し試験を合格した試験体は、高応力繰返し試験も合格することが試験実績の蓄積で明らかになったことから、後者の試験は省略されている。

一方向引張、弾性域正負繰返しおよび塑性域正負繰返し試験は、同一の試験体で実施した。G1 には等級 SA 級を満たすために竹節鉄筋を用い、その他にはねじ節鉄筋を用いた（**図 2-2**）。

表 2-1　試験体に用いた機械式継手の仕様

鉄筋径	機械式継手の寸法	モルタル充填継手		ねじ節鉄筋継手	
		G1（等級 SA）	G2（等級 A）	T1（等級 A）	T2（等級 A）
D16	外径（mm）	45	－	27.7	－
	長さ（mm）	245	－	110	－
D19	外径（mm）	49	－	33	－
	長さ（mm）	285	－	110	－
D22	外径（mm）	53	52	37.2	38
	長さ（mm）	325	280	132	242
D29	外径（mm）	63	60	47.4	48
	長さ（mm）	415	350	168	308
D35	外径（mm）	71	－	58.5	－
	長さ（mm）	495	－	224	－
D41	外径（mm）	82	－	66.5	－
	長さ（mm）	620	－	224	－

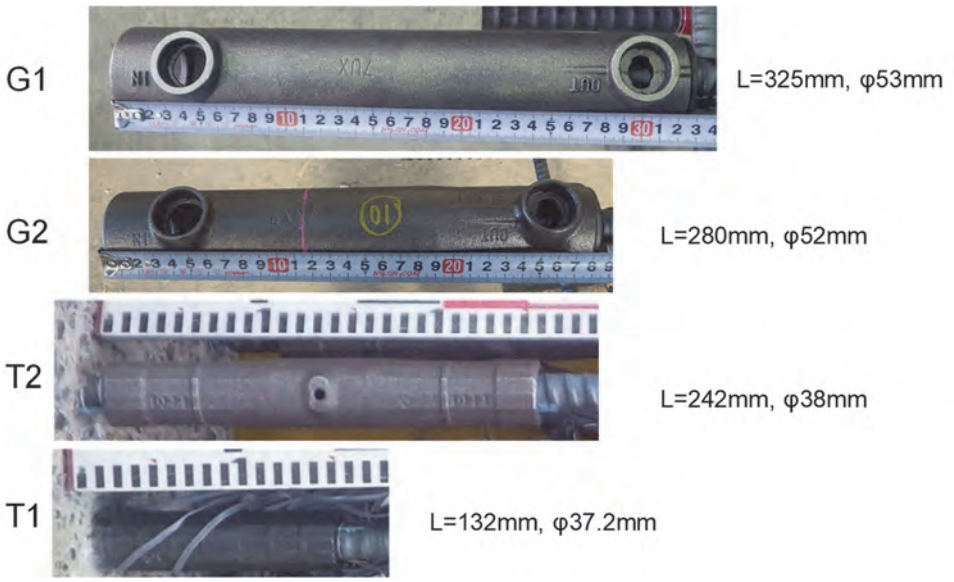
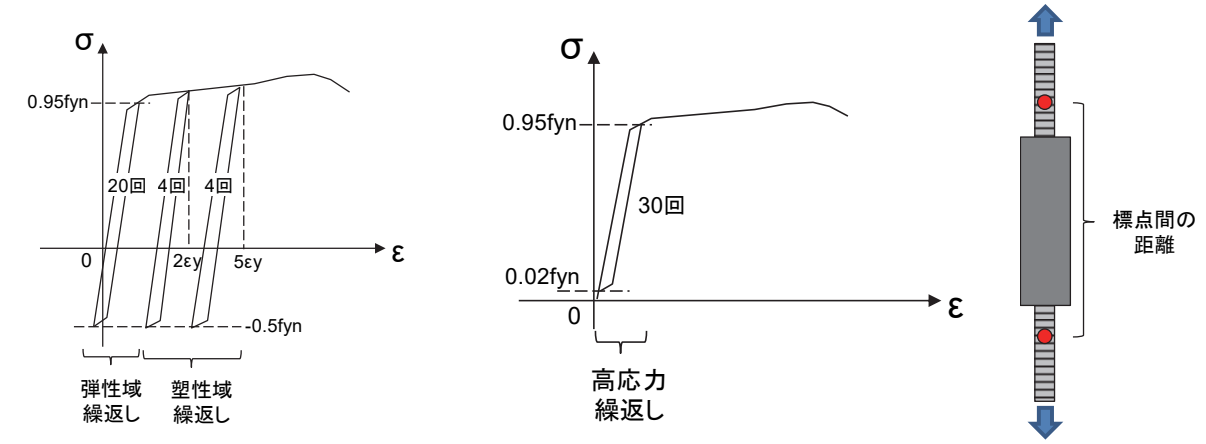


図 2-1　試験に用いた機械式継手の例：D22

図 2-2　試験に用いた鉄筋の例：D29



a)　一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し

b)　高応力繰返し

c)　標点間距離

図 2-3　機械式継手単体試験の概要

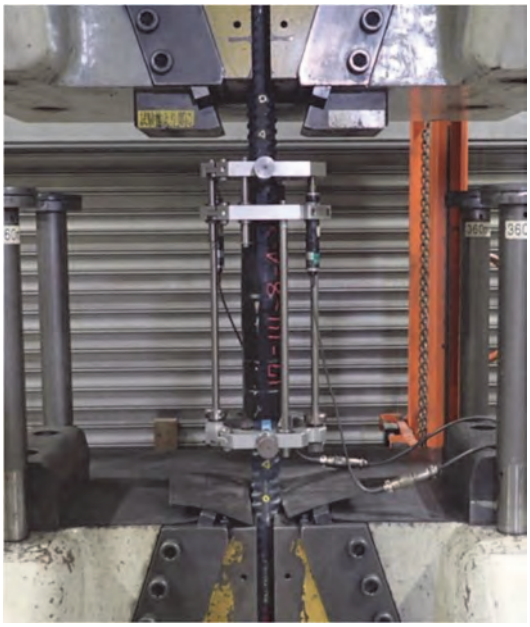


図 2-4　変位計の設置状況

変位の測定は、歪ゲージ式変位計を用いて行った（**図 2-4**）。標点間の距離は、機械式継手の長さの両側に鉄筋径の 1/2 または 20mm のうち、大きい方の長さを加えた値とした。なお、T1 の塑性域正負繰返し試験については、A 級の基準値となる 4 回目加力後に試験を終了した。

モルタル充填継手およびねじ節鉄筋継手のグラウトは、それぞれ、無収縮性高強度モルタルおよびエポキシ樹脂系接着剤である。グラウトの養生条件は、モルタル充填継手は 20℃で 27 日以上、ねじ節鉄筋継手は 20℃で 7 日以上とした。試験体数は、各 3 体とした。モルタル充填継手のグラウトの試験時の圧縮強度（φ5×10cm 供試体）は 111N/mm^2、ねじ節鉄筋継手のグラウトの検査証明書による圧縮強度（JIS K 6911、角柱 12.7×12.7×25mm）は 98N/mm^2 であった。

2.2 試験結果と考察

以下では、第3章で後述する各寸法(小型、中型、大型)の試験体に用いた機械式継手ごとに結果を示す。

2.2.1 小型試験体に用いた機械式継手

小型試験体に用いた機械式継手(D16とD19)の破壊形態を**表 2-2**、特性の試験結果を**図 2-5～2-8** に示す。試験結果より、強度、剛性、伸び能力およびすべり量については、各機械式継手の仕様の通り、G1は土木学会の鉄筋定着･継手指針に規定されるSA級、T1は同指針に規定されるA級を満たしていることを確認した。試験体の破壊形態は、いずれも鉄筋破断であった。

一方向引張試験結果を**図 2-5** に示す。強度は、いずれもSD345の規格強度以上であった。割線剛性の比は、G1は1.4～1.5程度、T1は0.9～1.0程度で、後者の方が、相対的に小さい値を示した。これは、T1のカプラーが比較的短いためと考えられる。すべり量は、0.02～0.05mmの範囲で、いずれも基準値より小さかった。伸び能力は、いずれもSA級の基準値以上であった。

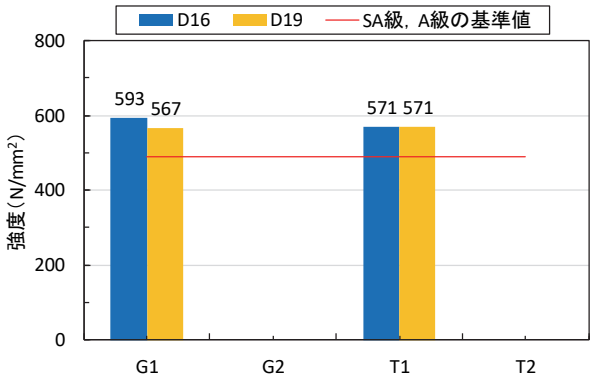
弾性域正負繰返し試験の結果を**図 2-6** に示す。割線剛性の比は、いずれもSA級基準値以上であった。すべり量は、0.02～0.07mmの範囲で、いずれも基準値より小さかった。

塑性域正負繰返し試験の結果を**図 2-7** に示す。4回目および8回目の加力におけるすべり量は、それぞれ、0.06～0.08mmおよび0.14mmとなり、いずれも基準値よりも小さい結果であった。4回目および8回目の加力におけるすべりひずみについても、同様の傾向であった。

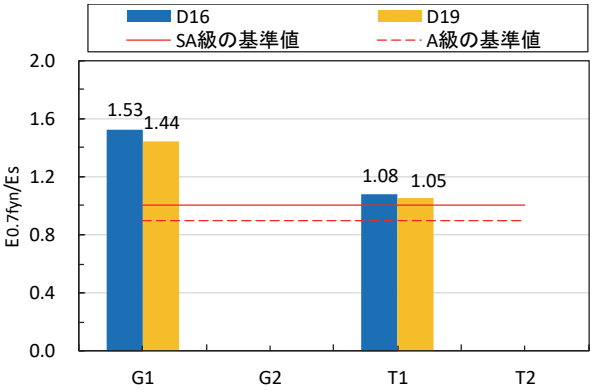
高応力繰返し試験結果を**図 2-8** に示す。強度は、いずれもSD345の規格強度以上であった。割線剛性の比は、いずれもSA級の基準値以上であった。30回目の加力におけるすべり量は、0.04～0.07mmの範囲で、いずれも基準値より小さかった。伸び能力は、いずれもSA級の基準値以上であった。

表 2-2 各試験体の破壊形態

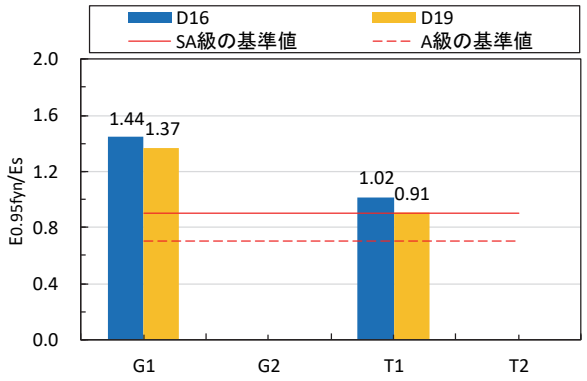
鉄筋径	機械式継手種類	試験種別	破壊形態
D16	G1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
	T1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
D19	G1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
	T1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断



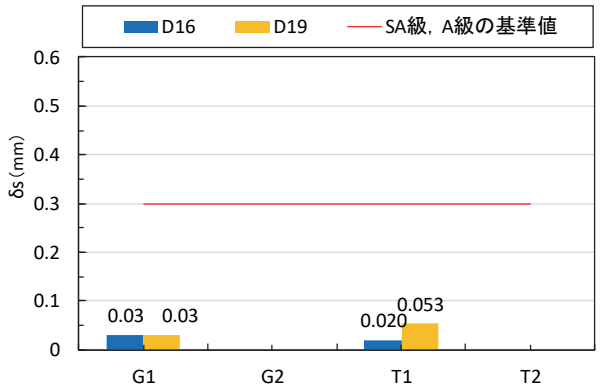
a)　強度



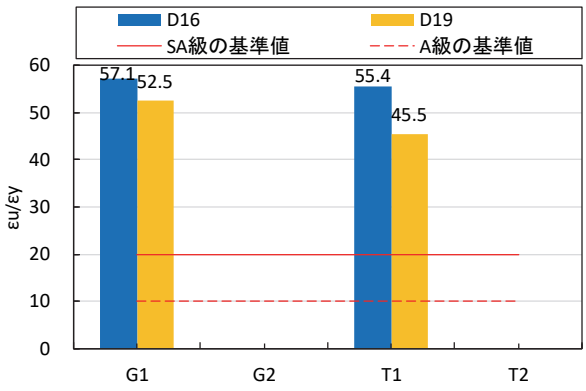
b)　母材鉄筋の規格降伏強度の 70%応力時における割線剛性の比



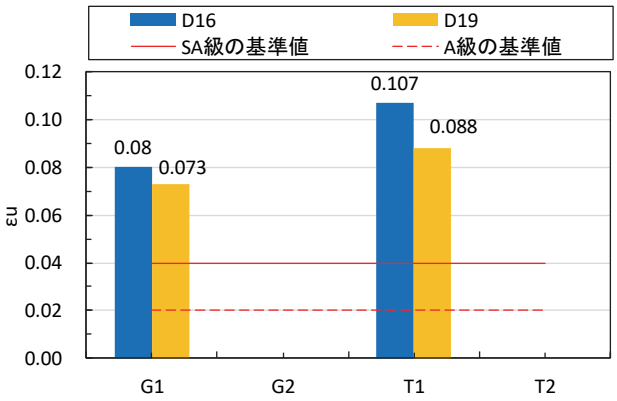
c)　母材鉄筋の規格降伏強度 95%応力時における割線剛性の比



d)　すべり量

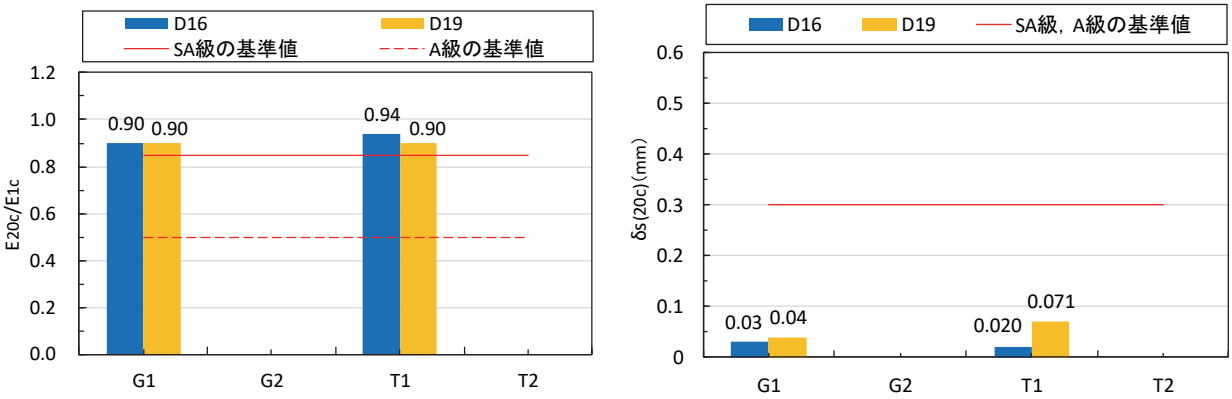


e)　伸び能力、終局ひずみと降伏ひずみの比



f)　伸び能力、終局ひずみ

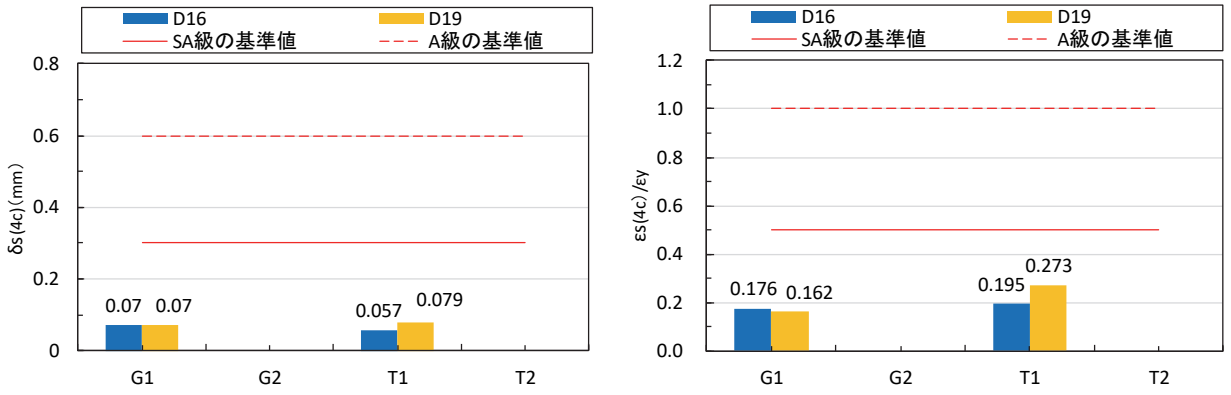
図 2-5　小型試験体に用いた機械式継手の一方向引張試験（D16 と D19）



a) 20 回目加力時の母材鉄筋の規格降伏強度の 95%応力時における割線剛性の比

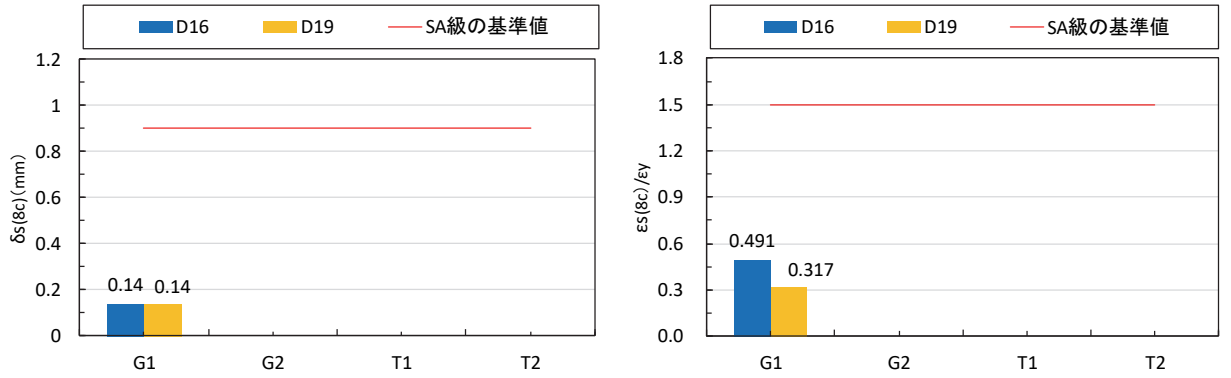
b) 20 回目の加力におけるすべり量

図 2-6　小型試験体に用いた機械式継手の弾性域正負繰返し試験（D16 と D19）



a) 4 回目の加力におけるすべり量

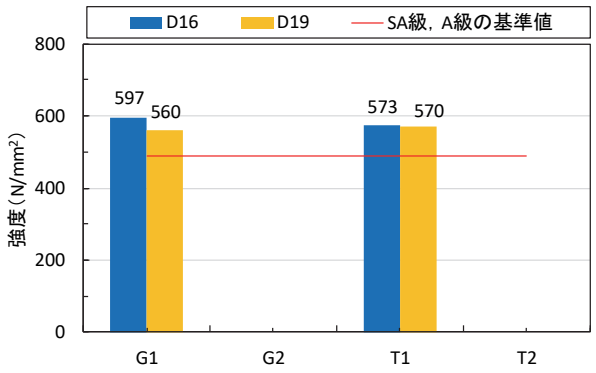
b) 4 回目の加力におけるすべりひずみ



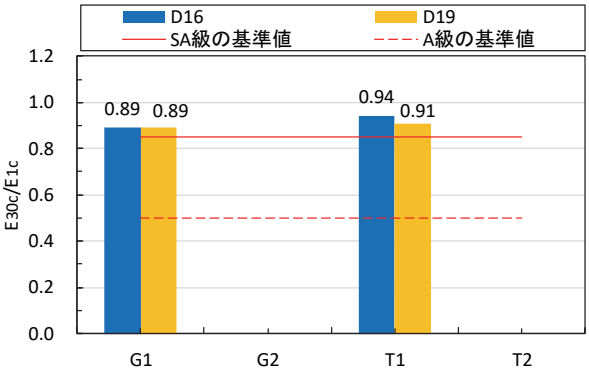
c) 8 回目の加力におけるすべり量

d) 8 回目の加力におけるすべりひずみ

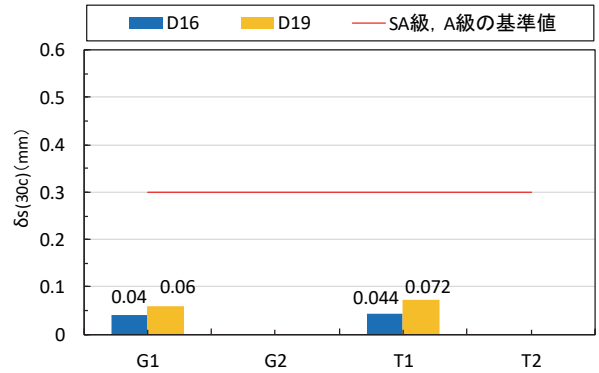
図 2-7　小型試験体に用いた機械式継手の塑性域正負繰返し試験（D16 と D19）



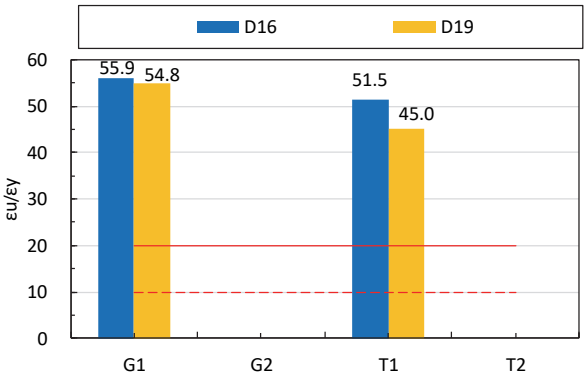
a)　強度



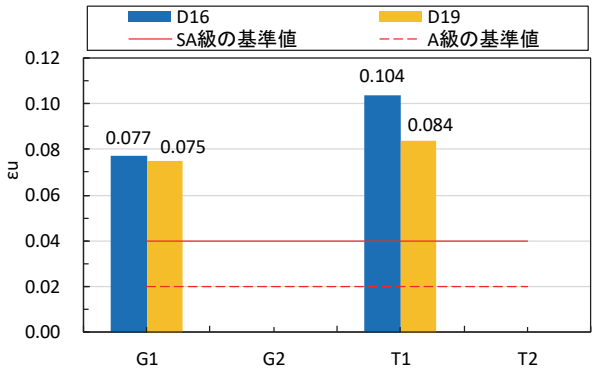
b)　30 回目加力時の母材鉄筋の規格降伏強度の 95%応力時における割線剛性の比



c)　30 回目の加力におけるすべり量



d)　伸び能力、終局ひずみと降伏ひずみの比



e)　伸び能力、終局ひずみ

図 2-8　小型試験体に用いた機械式継手の高応力繰返し試験（D16 と D19）

2.2.2　中型試験体に用いた機械式継手

中型試験体に用いた機械式継手(D22とD29)の破壊形態を**表 2-3**、特性の試験結果を**図 2-9～2-12** に示す。試験結果より、強度、剛性、伸び能力およびすべり量については、各機械式継手の仕様の通り、G1 は土木学会の鉄筋定着･継手指針に規定される SA 級、その他は同指針に規定される A 級を満たしていることを確認した。試験体の破壊形態は、G2 は鉄筋抜出、その他は鉄筋破断であった。

一方向引張試験結果を**図 2-9** に示す。強度は、いずれも SD345 の規格強度以上であった。割線剛性の比は、カプラーが比較的短い T1 で相対的に小さい値を示した。すべり量は、0.02～0.08mm の範囲で、いずれも基準値より小さかった。伸び能力は、G2 は A 級の基準値以上、その他は SA 級の基準値以上であった。G2 の伸び能力が相対的に小さい値を示したのは、G1 よりもスリーブ形状が小さいためにグラウトと鉄筋との付着が G1 と比較して少なく、鉄筋の抜け出しにより終局に至ったためと考えられる。

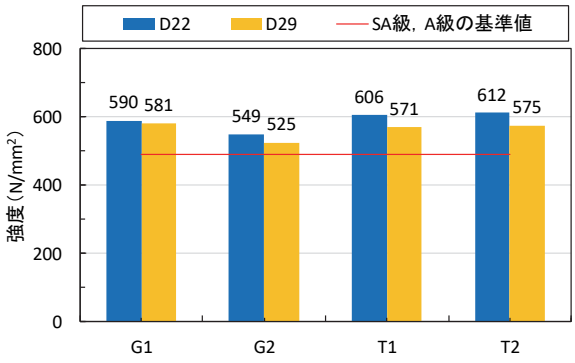
弾性域正負繰返し試験の結果を**図 2-10** に示す。割線剛性の比は、いずれも SA 級基準値以上であった。すべり量は、0.02～0.11mm の範囲で、いずれも基準値より小さかった。

塑性域正負繰返し試験の結果を**図 2-11** に示す。4 回目および 8 回目の加力におけるすべり量は、それぞれ、0.06～0.12mm および 0.14～0.24mm となり、いずれも基準値よりも小さい結果であった。4 回目および 8 回目の加力におけるすべりひずみについても、同様の傾向であった。

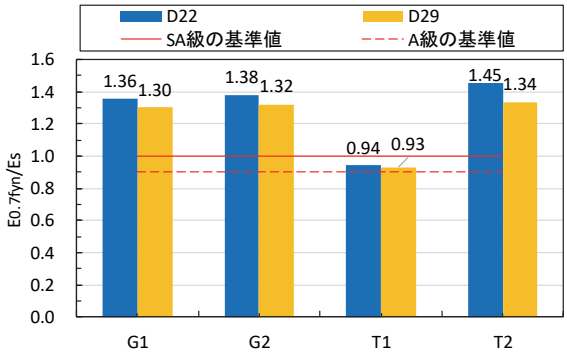
高応力繰返し試験結果を**図 2-12** に示す。強度は、いずれも SD345 の規格強度以上であった。割線剛性の比は、いずれも SA 級の基準値以上であった。30 回目の加力におけるすべり量は、0.04～0.1mm の範囲で、いずれも基準値より小さかった。伸び能力は、G2 は A 級の基準値以上、その他は SA 級の基準値以上であった。

表 2-3　各試験体の破壊形態

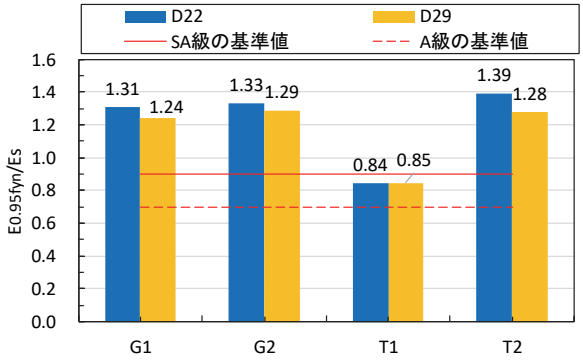
鉄筋径	機械式継手種類	試験種別	破壊形態
D22	G1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
	G2	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋抜出
		高応力繰返し	鉄筋抜出
	T1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
	T2	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
D29	G1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
	G2	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋抜出
		高応力繰返し	鉄筋抜出
	T1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
	T2	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断



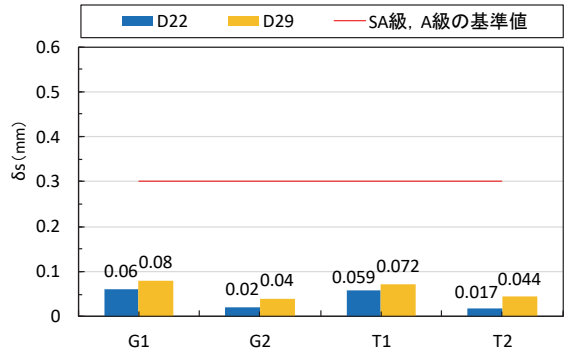
a)　強度



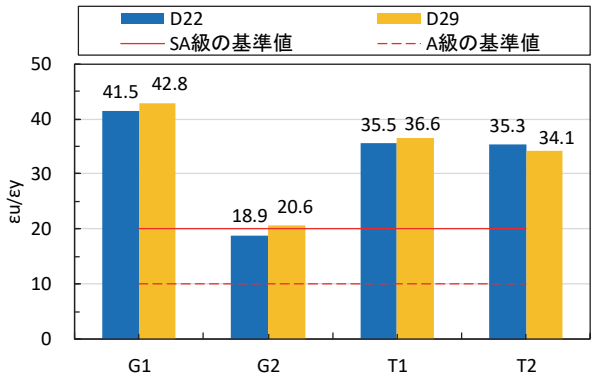
b)　母材鉄筋の規格降伏強度の 70%応力時における割線剛性の比



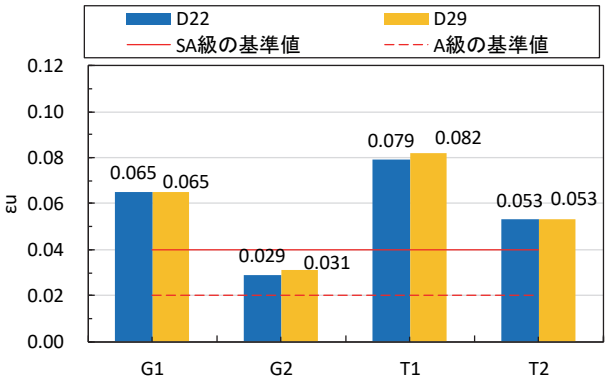
c)　母材鉄筋の規格降伏強度 95%応力時における割線剛性の比



d)　すべり量

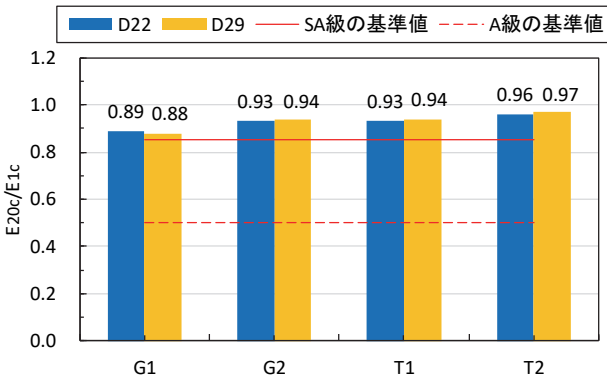


e)　伸び能力、終局ひずみと降伏ひずみの比

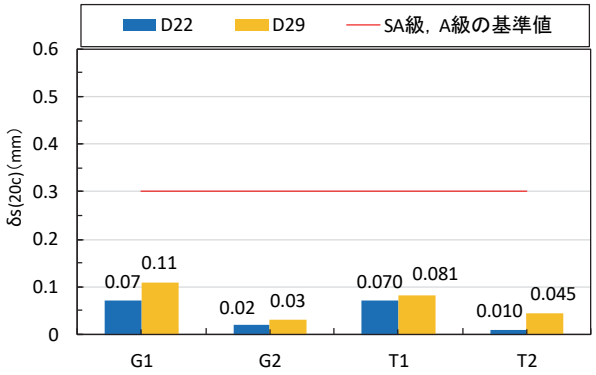


f)　伸び能力、終局ひずみ

図 2-9　中型試験体に用いた機械式継手の一方向引張試験（D22 と D29）

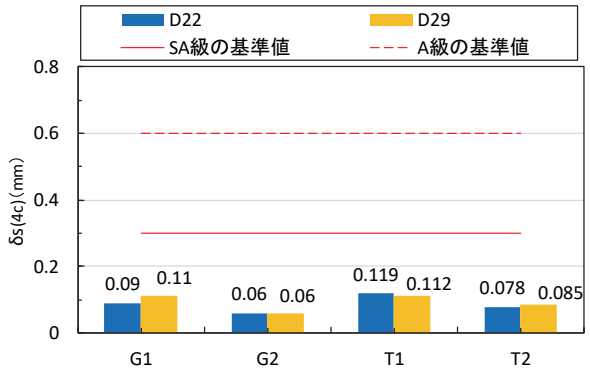


a) 20 回目加力時の母材鉄筋の規格降伏強度の95%応力時における割線剛性の比

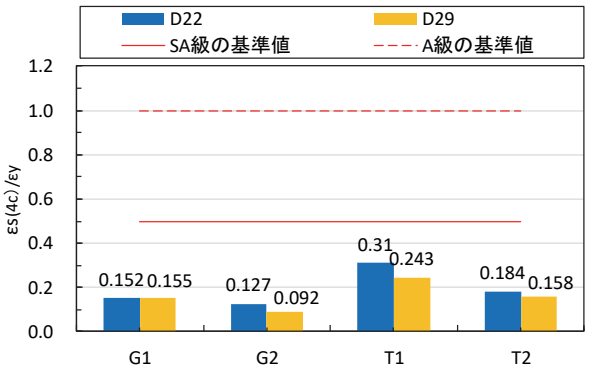


b) 20 回目の加力におけるすべり量

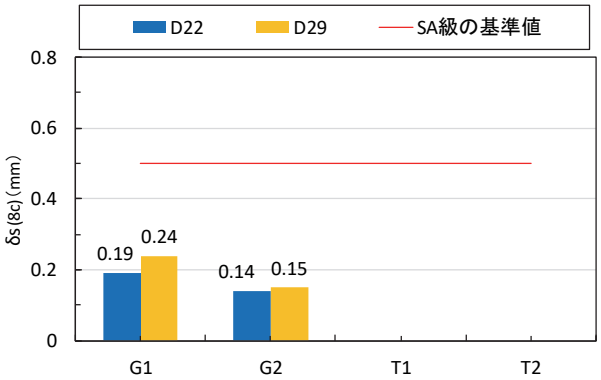
図 2-10　D22 と D29 の弾性域正負繰返し試験（中型試験体に用いた鉄筋径）



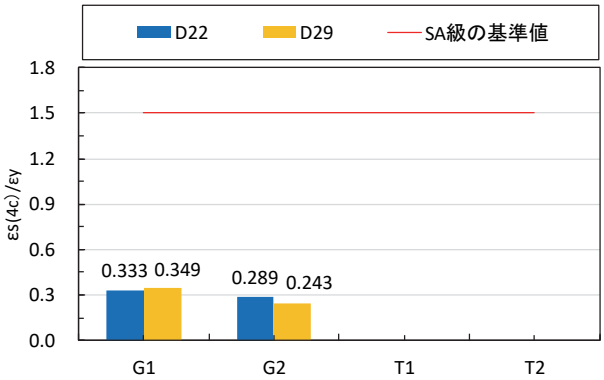
a) 4 回目の加力におけるすべり量



b) 4 回目の加力におけるすべりひずみ

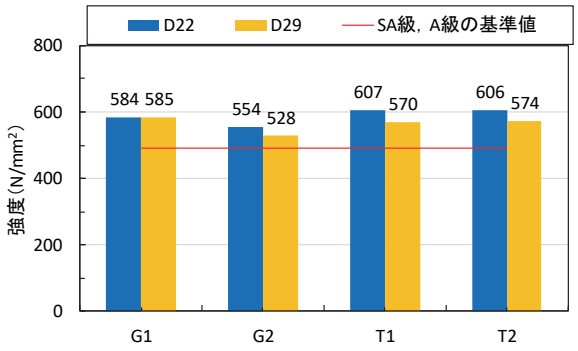


c) 8 回目の加力におけるすべり量

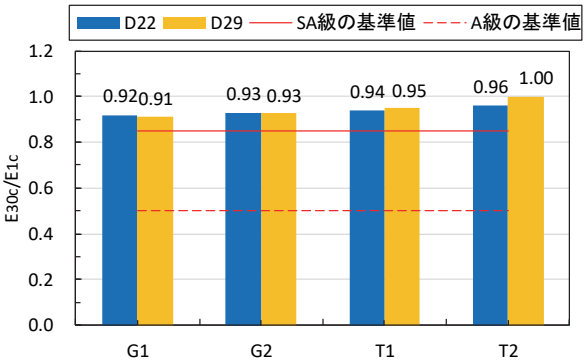


d) 8 回目の加力におけるすべりひずみ

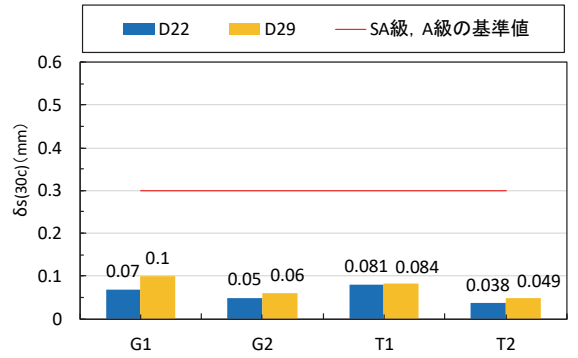
図 2-11　中型試験体に用いた機械式継手の塑性域正負繰返し試験（D22 と D29）



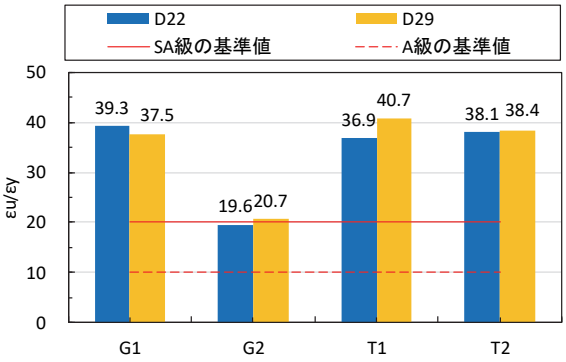
a)　強度



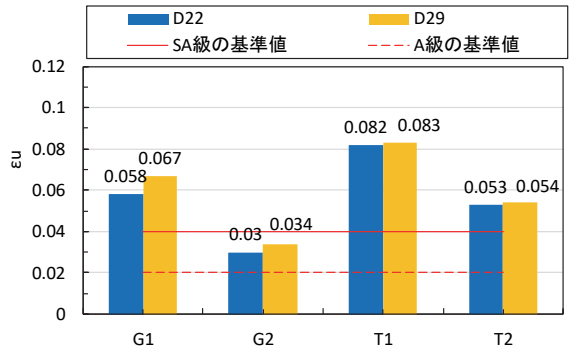
b)　30 回目加力時の母材鉄筋の規格降伏強度の 95%応力時における割線剛性の比



c)　30 回目の加力におけるすべり量



d)　伸び能力、終局ひずみと降伏ひずみの比



e)　伸び能力、終局ひずみ

図 2-12　中型試験体に用いた機械式継手の高応力繰返し試験（D22 と D29）

2.2.3　大型試験体に用いた機械式継手

大型試験体に用いた機械式継手（D35とD41）の破壊形態を**表 2-4**、特性の試験結果を**図 2-13～2-16** に示す。試験結果より、強度、剛性、すべり量については、各機械式継手の仕様の通り、G1は土木学会の鉄筋定着・継手指針に規定されるSA級、その他は同指針に規定されるA級を満たしていることを確認した。ただし、D35のG1では、伸び能力（終局ひずみ）がSA級基準値を下回った。試験体の破壊形態は、G1は鉄筋抜出または鉄筋破断、T1は鉄筋破断であった。

一方向引張試験結果を**図 2-13** に示す。強度は、いずれもSD345の規格強度以上であった。割線剛性の比は、カプラーが比較的短いT1で相対的に小さい値を示した。すべり量は、0.04～0.10mmの範囲で、いずれも基準値より小さかった。伸び能力は、G1のD41はSA級基準値以上であったが、D35はSA級基準値を下回った。G1のD35のみSA級基準値を下回った理由は明確ではないが、コンクリートと鉄筋との終局の付着強度は、鉄筋の節間隔と直径の比が小さいほど、鉄筋の節高さと直径の比が小さいほど、低下する傾向が報告されていることから[12)]、使用したD35の竹節鉄筋の節の間隔や高さが影響した可能性がある。T1については、SA級の基準値以上であった。

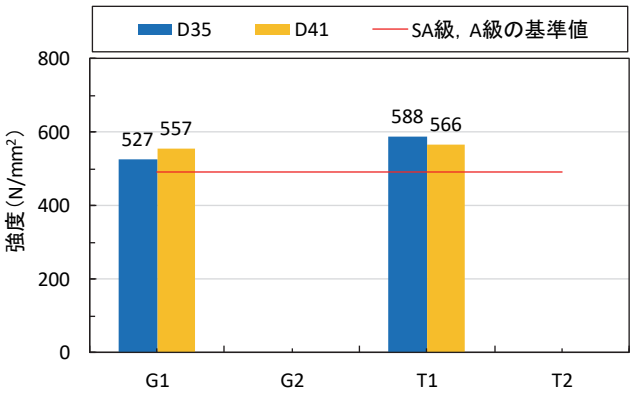
弾性域正負繰返し試験の結果を**図 2-14** に示す。割線剛性の比は、いずれもSA級基準値以上であった。すべり量は、0.03～0.13mmの範囲で、いずれも基準値より小さかった。

塑性域正負繰返し試験の結果を**図 2-15** に示す。4回目および8回目の加力におけるすべり量は、それぞれ、0.06～0.18mmおよび0.16～0.19mmとなり、いずれも基準値よりも小さい結果であった。4回目および8回目の加力におけるすべりひずみについても、同様の傾向であった。

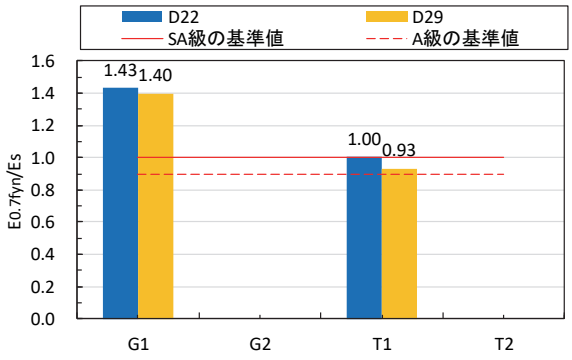
高応力繰返し試験結果を**図 2-16** に示す。強度は、いずれもSD345の規格強度以上であった。割線剛性の比は、いずれもSA級の基準値以上であった。30回目の加力におけるすべり量は、0.07～0.17mmの範囲で、いずれも基準値より小さかった。G1のD41はSA級基準値以上であったが、D35はSA級基準値を下回った。T1については、SA級の基準値以上であった。

表 2-4　各試験体の破壊形態

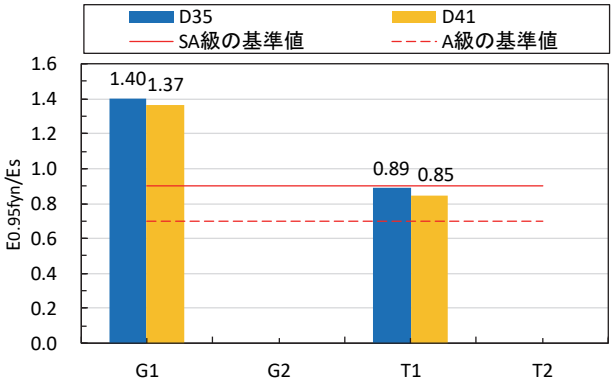
鉄筋径	機械式継手種類	試験種別	破壊形態
D35	G1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋抜出
		高応力繰返し	鉄筋抜出
	T1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断
D41	G1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋抜出
		高応力繰返し	2体：鉄筋破断、 1体：鉄筋抜出
	T1	一方向引張、弾性域正負繰返し、塑性域正負繰返し	鉄筋破断
		高応力繰返し	鉄筋破断



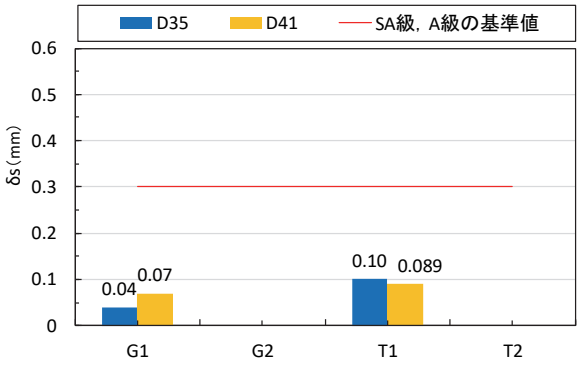
a)　強度



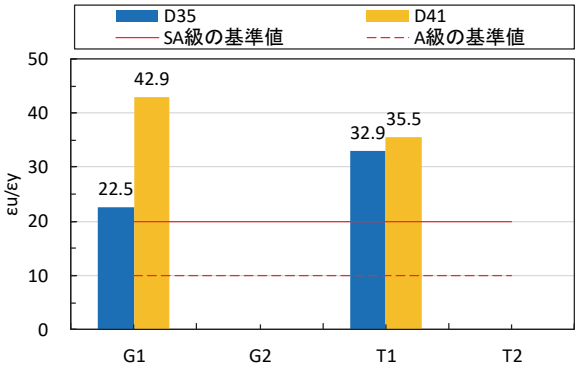
b)　母材鉄筋の規格降伏強度の 70%応力時における割線剛性の比



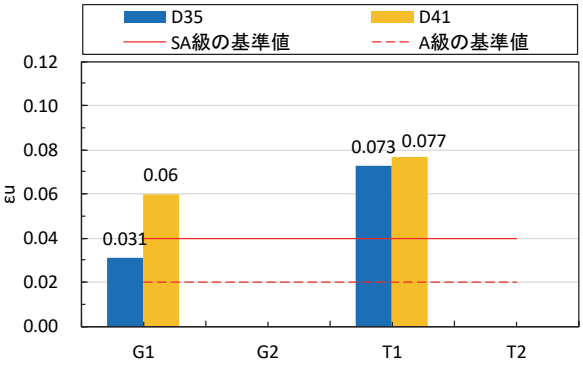
c)　母材鉄筋の規格降伏強度 95%応力時における割線剛性の比



d)　すべり量

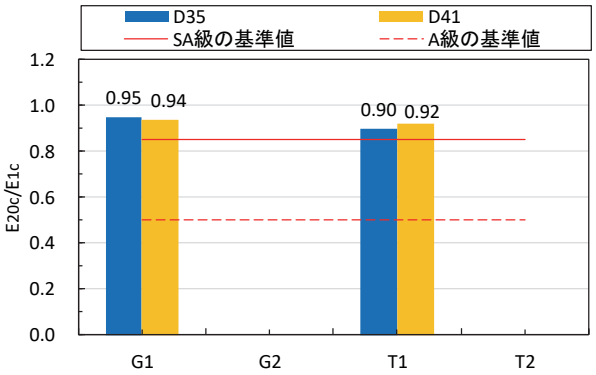


e)　伸び能力、終局ひずみと降伏ひずみの比

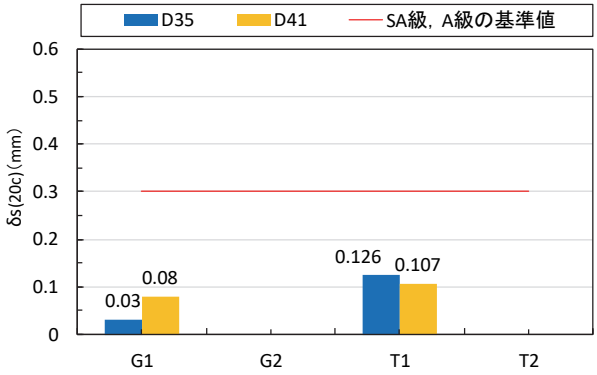


f)　伸び能力、終局ひずみ

図 2-13　大型試験体に用いた機械式継手の一方向引張試験（D35 と D41）

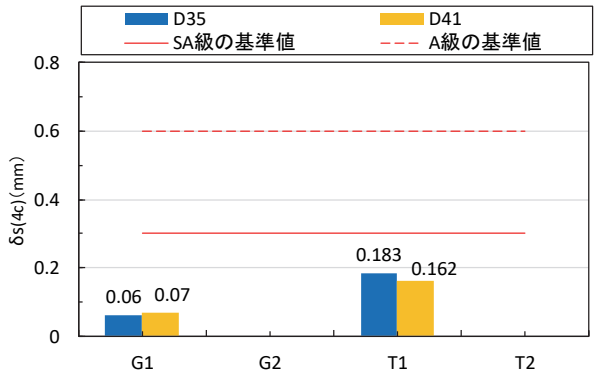


a) 20 回目加力時の母材鉄筋の規格降伏強度の95%応力時における割線剛性の比

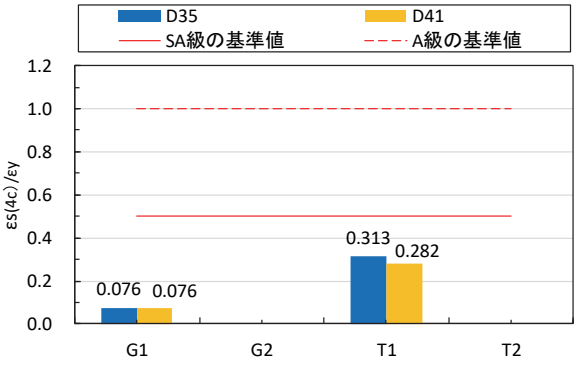


b) 20 回目の加力におけるすべり量

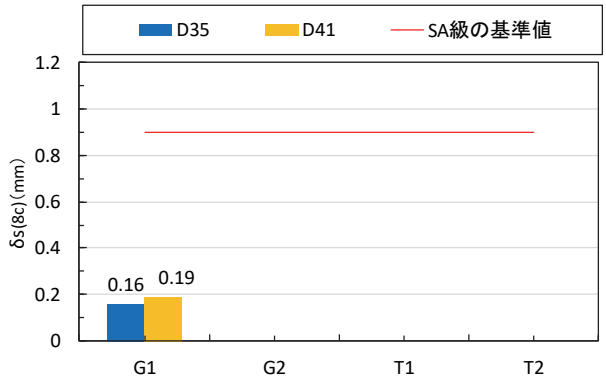
図 2-14　D35 と D29 の弾性域正負繰返し試験（大型試験体に用いた鉄筋径）



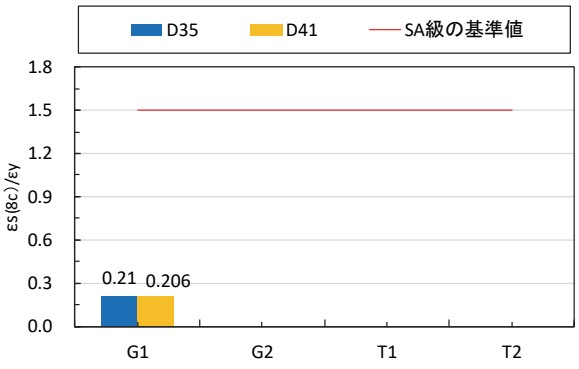
a) 4 回目の加力におけるすべり量



b) 4 回目の加力におけるすべりひずみ

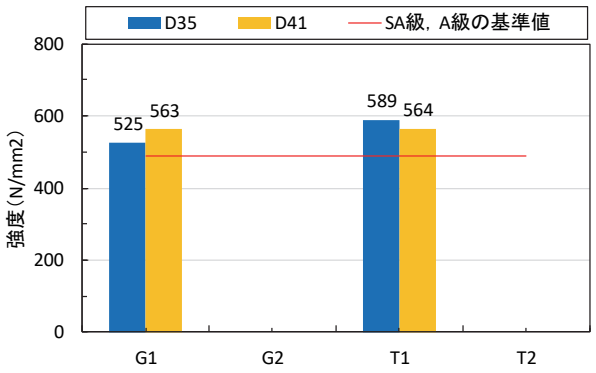


c) 8 回目の加力におけるすべり量

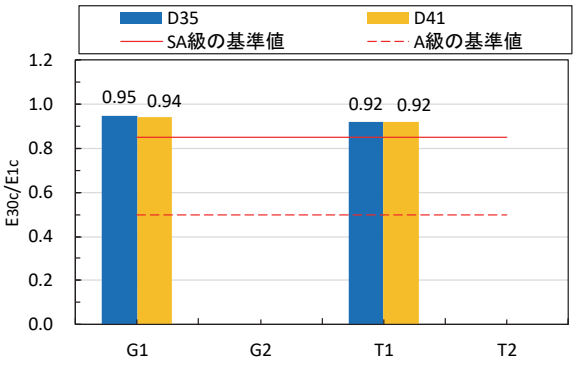


d) 8 回目の加力におけるすべりひずみ

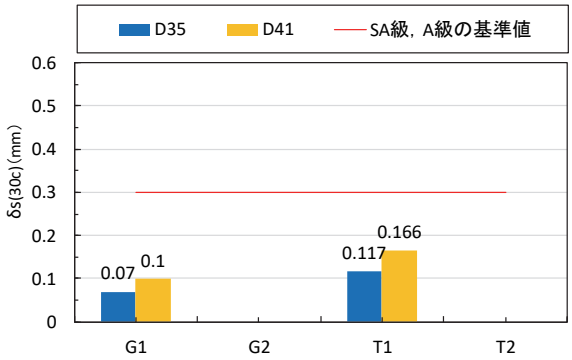
図 2-15　大型試験体に用いた機械式継手の塑性域正負繰返し試験（D35 と D41）



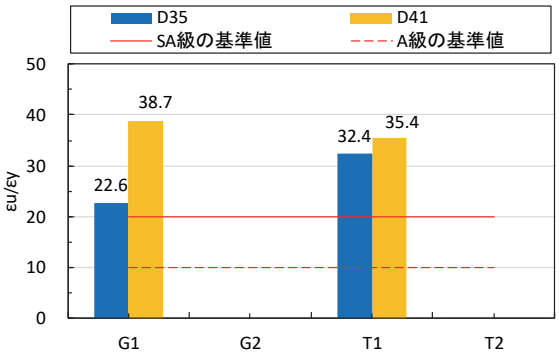
a)　強度



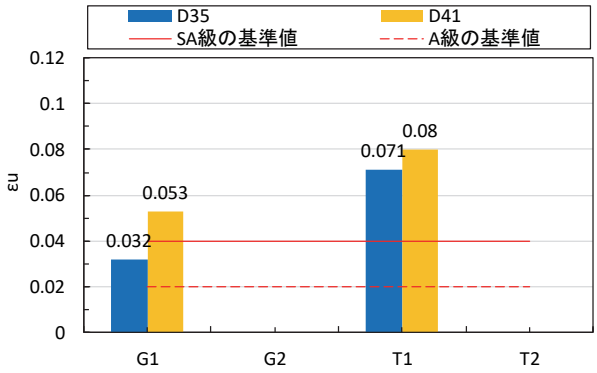
b)　30 回目加力時の母材鉄筋の規格降伏強度の 95%応力時における割線剛性の比



c)　30 回目の加力におけるすべり量



d)　伸び能力、終局ひずみと降伏ひずみの比



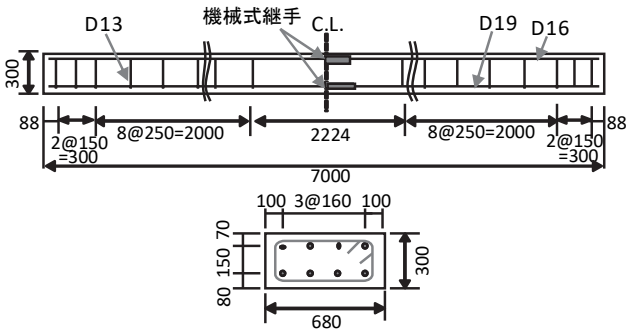
e)　伸び能力、終局ひずみ

図 2-16　大型試験体に用いた機械式継手の高応力繰返し試験（D35 と D41）

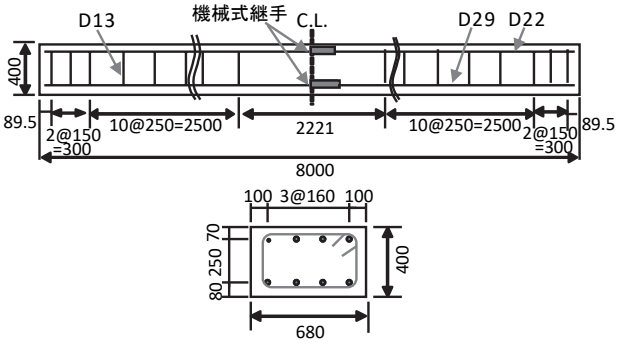
3　プレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験方法

3.1　曲げ載荷試験に用いた試験体

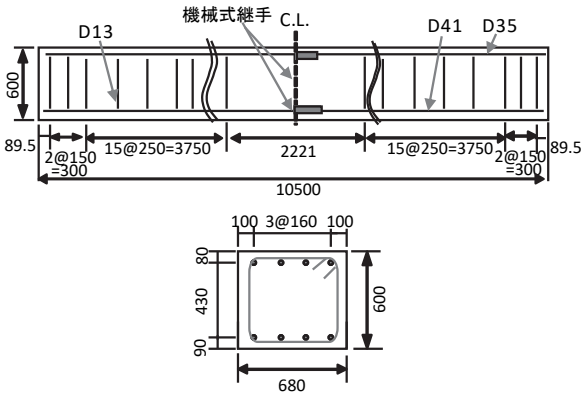
曲げ載荷試験に用いた試験体は、機械式継手を用いて 2 つの RC 部材を接合したものと継手のない一体のものを製作し、両者の挙動を比較した。機械式継手を用いた試験体の配筋状況を**図 3-1** に示す。試験体の寸法と配筋量は、PCa ボックスカルバートの断面を想定し、小型、中型、大型の 3 種類とした。なお、等曲げモーメント区間となる範囲は、曲げひび割れの発生位置に影響を及ぼさないように、スターラップを配置しなかった。



a)　小型試験体



b)　中型試験体



c)　大型試験体

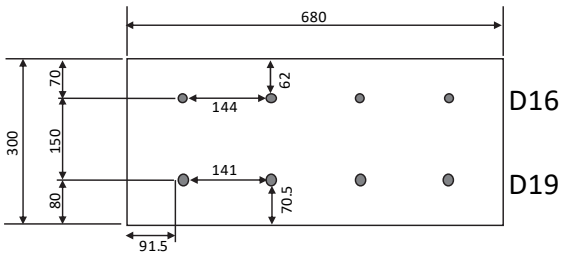
図 3-1　機械式継手を用いた試験体の配筋状況

試験体の条件は、**表 3-1** に示すものとし、機械式継手の種類、鉄筋中心間隔、かぶりを変更した。鉄筋中心間隔は 160mm を標準とし、中型試験体では 90mm と 240mm の場合も製作した。なお、配筋量の増減で変化させたため、狭いほど引張鉄筋比が大きくなる。試験体 No.6 および No.11 は、それぞれ、鉄筋のかぶりおよび機械式継手のかぶりを 30mm とした。かぶりを小さくしたのは、機械式継手部のかぶりが、載荷中に、はく落する等の悪影響がないかを確認するためである。鉄筋径は、圧縮側を D22、D29、D35、引張側を D19、D29、D41 とした。鉄筋種類は全て SD345 とし、継手単体試験と同様に、G1 には竹節鉄筋、その他にはねじ節鉄筋を用いた。断面の主鉄筋の配置状況を**図 3-2** に示す。

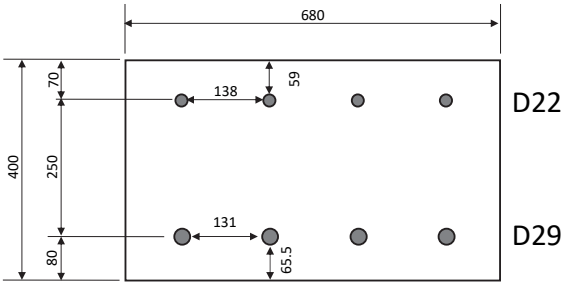
表 3-1　試験体の条件

No.	寸法	鉄筋径 1)	機械式鉄筋継手 2)		機械式鉄筋継手の種類	鉄筋継手等級	鉄筋中心間隔 (mm)	あき 3) (mm)	鉄筋径に対するあきの比 4)	引張鉄筋比 (%)	かぶり 5) (mm)
			外径 (mm)	長さ (mm)							
1	小型	D19 (D16)	-		鉄筋継手なし（竹節鉄筋）	-	160	141	7.42	0.6	70.5
2			49	285	モルタル充填継手 G1（竹節鉄筋）	SA	160	141 (111)	7.42 (5.84)	0.6	70.5 (55.5)
3			33	110	ねじ節鉄筋継手 T1（ねじ節鉄筋）	A	160	141 (127)	7.42 (6.68)	0.6	70.5 (63.5)
4	中型	D29 (D22)	-		鉄筋継手なし（竹節鉄筋）	-	90	61	2.10	1.8	65.5
5					鉄筋継手なし（竹節鉄筋）		160	131	4.52	1.2	65.5
6					鉄筋継手なし（竹節鉄筋）		160	131	4.52	1.2	30
7					鉄筋継手なし（ねじ節鉄筋）		160	131	4.52	1.2	65.5
8					鉄筋継手なし（竹節鉄筋）		240	131	7.28	0.9	65.5
9			63	415	モルタル充填継手 G1（竹ふし鉄筋）	SA	90	61 (27)	2.10 (0.93)	1.8	65.5 (48.5)
10							160	131 (97)	4.52 (3.3)	1.2	65.5 (48.5)
11							160	131 (97)	4.52 (3.3)	1.2	47 (30)
12							240	211 (177)	7.28 (6.1)	0.9	65.5 (48.5)
13			60	350	モルタル充填継手 G2（ねじ節鉄筋）	A	160	131 (100)	4.52 (3.4)	1.2	65.5 (50)
14			47.4	168	ねじ節鉄筋継手 T1（ねじ節鉄筋）	A	90	61 (42.6)	2.10 (1.47)	1.8	65.5 (56.3)
15							160	131 (112.6)	4.52 (3.88)	1.2	65.5 (56.3)
16							240	211 (192.6)	7.28 (6.64)	0.9	65.5 (56.3)
17			48	308	ねじ節鉄筋継手 T2（ねじ節鉄筋）	A	160	131 (112)	4.52 (3.86)	1.2	65.5 (56)
18	大型	D41 (D35)	-		鉄筋継手なし（竹ふし鉄筋）	-	160	119	2.90	1.5	69.5
19			82	620	モルタル充填継手 G1（竹ふし鉄筋）	SA		119 (78)	2.90 (1.90)		69.5 (49)
20			66.5	224	ねじ節鉄筋継手 T1（ねじ節鉄筋）	A		119 (93.5)	2.90 (2.28)		69.5 (56.8)

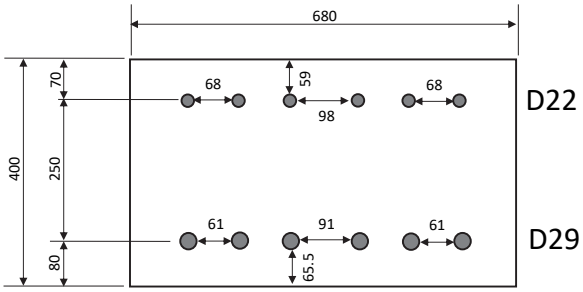
1) ( )の数値は圧縮側の鉄筋径, 鉄筋種類は SD345、2) 機械式鉄筋継手の外径と長さは引張側主鉄筋に対応、3) あきは引張側主鉄筋に対する値、( )の数値は機械式鉄筋継手のあき、4) ( )の数値は鉄筋径に対する機械式鉄筋継手のあきの比、 5) かぶりは引張側主鉄筋に対する値、( )の数値は機械式鉄筋継手のかぶり



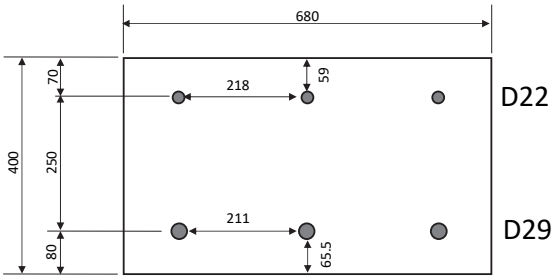
a) No.1～3



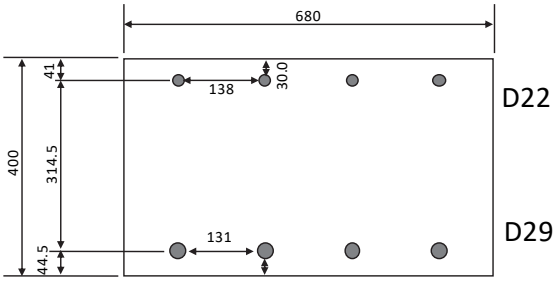
b) No. 5～7、10、11、15



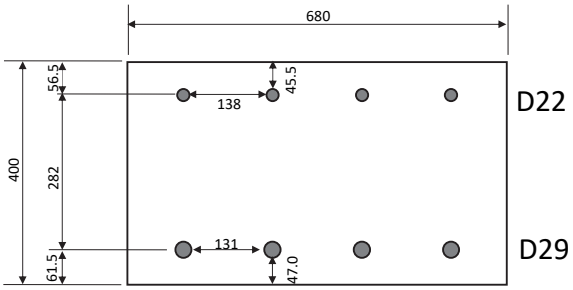
c) No.4、9、14



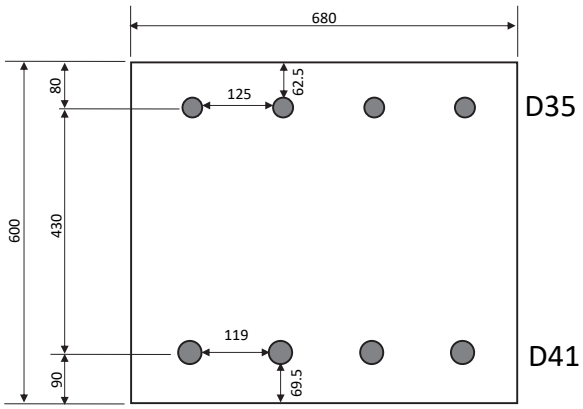
d) No.8、12、16



e) No.6



f) No.11



g) No.18～20

図 3-2 断面の主鉄筋の配置状況

コンクリートは、呼び強度 40、スランプ 18cm、粗骨材の最大寸法 20mm のレディミクストコンクリートとした。配合を**表 3-2** に示す。打設の 3 日後に脱型し、14 日以上気中で養生してから実験に供した。試験体を載荷する材齢（19～41 日）で、圧縮試験（圧縮強度、弾性係数）と割裂引張試験を実施した。試験数量は、それぞれ 3 体とした。

機械式継手の配置状況の例を**図 3-3** に示す。機械式継手は、片側の RC 部材に集中させて配置した。モルタル充填継手を用いた試験体は、スパン中央部に幅 20mm 程度の目地を有しており、左右の部材を製作した後に、モルタル充填継手及び目地部をグラウトで充填して一体化させた（**図 3-4**、**図 3-5**）。ねじ節鉄筋継手を用いた試験体は、コンクリートの打設を 2 回に分けて製作した。先に打設したコンクリートの硬化後に鉄筋を接合し、その後コンクリートを打設した（**図 3-6**、**図 3-7**）。

表 3-2　コンクリートの配合

W/C (%)	空気量(%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)			
			W	C	S	G
38.5	4.5	41.4	172	447	684	1001

セメント：早強ポルトランドセメント、密度 3.14g/cm^3、細骨材：陸砂、表乾密度 2.58g/cm^3、粗骨材：砕石、表乾密度 2.67g/cm^3、化学混和剤：高性能 AE 減水剤（主成分：ポリカルボン酸系化合物）

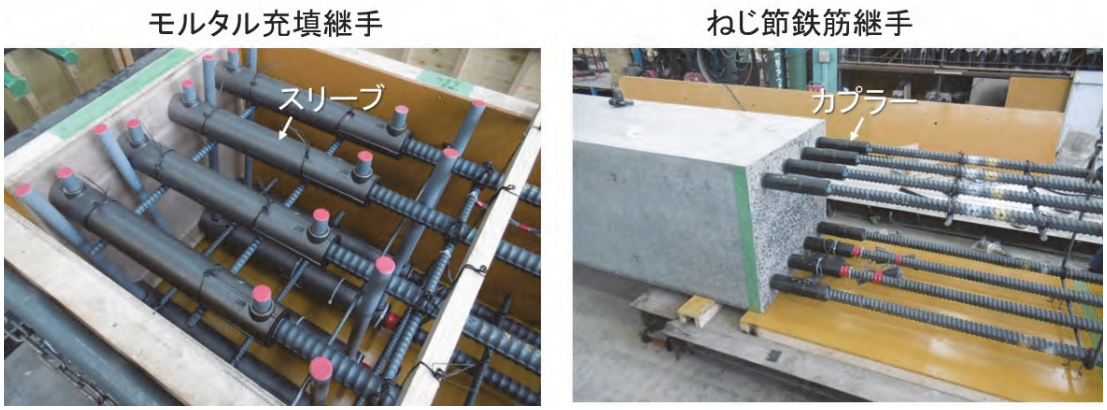
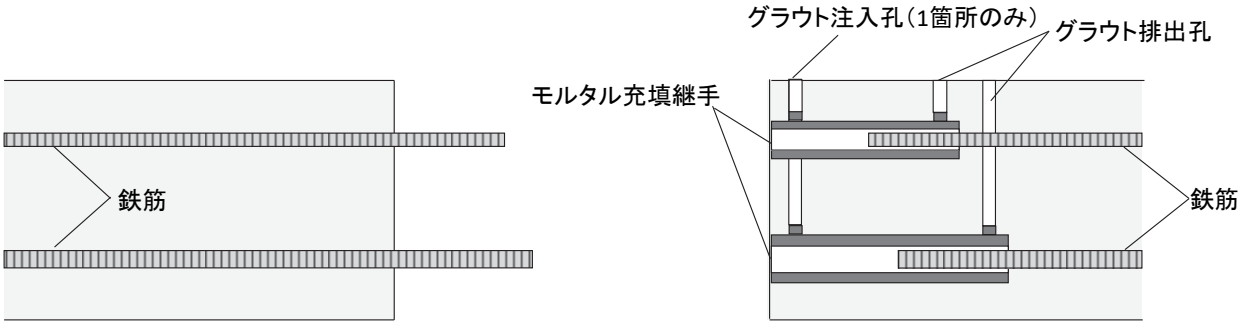
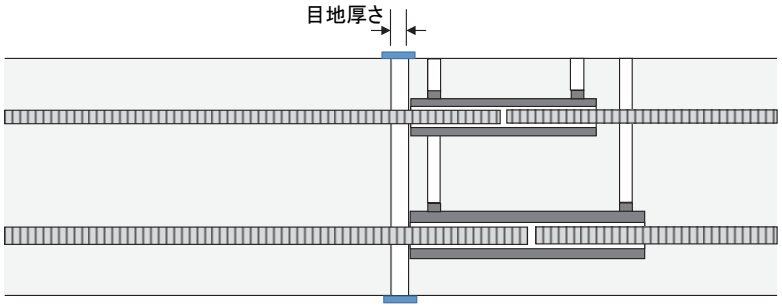


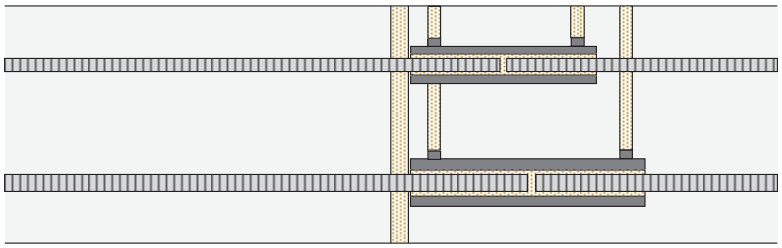
図 3-3　機械式継手の配置状況の例



1)　2 体に分けてコンクリートを打設



2)　目地厚さ 20mm となるように 2 体を据付け



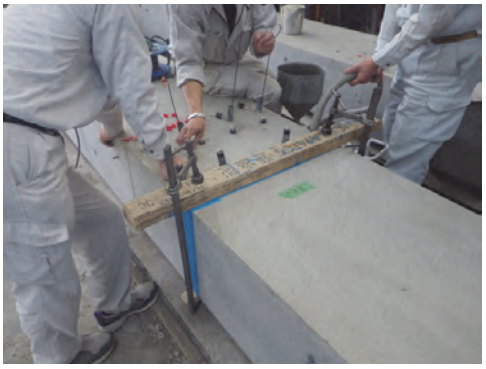
3)　モルタル充填継手及び目地にグラウトを充填して接合

図 3-4　モルタル充填継手を用いた試験体の製作手順の概要

a)　配筋状況

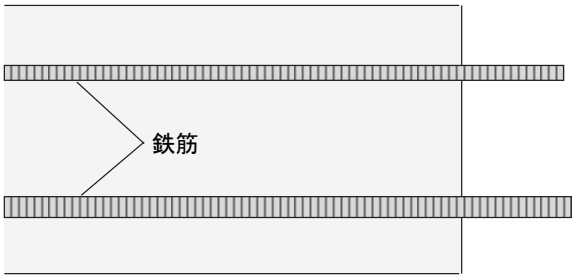
b)　コンクリート打設状況

c)　接合前の部材の状況

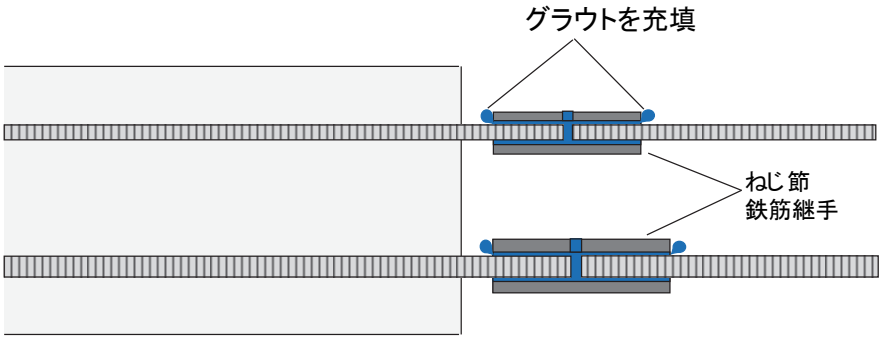


d)　グラウト充填状況

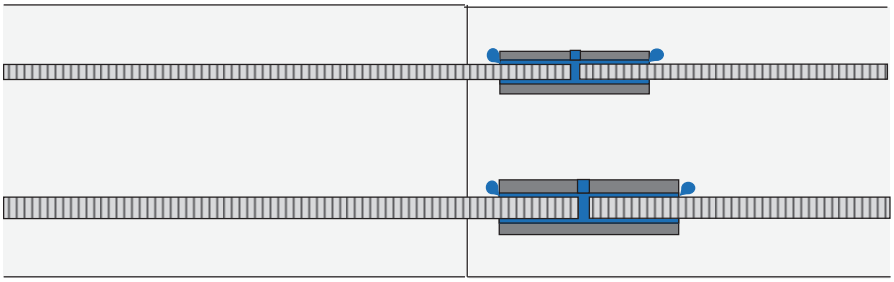
図 3-5　モルタル充填継手を用いた試験体の製作状況例（試験体 No.10）



1)　試験体の半分のコンクリートを打設

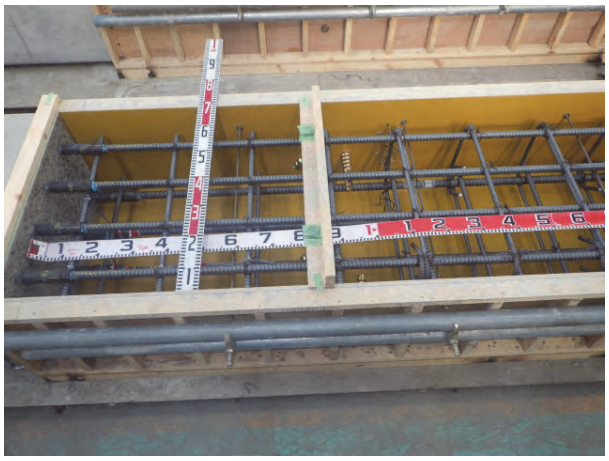


2)　ねじ節鉄筋継手を挿入し、グラウトを充填して鉄筋を接合



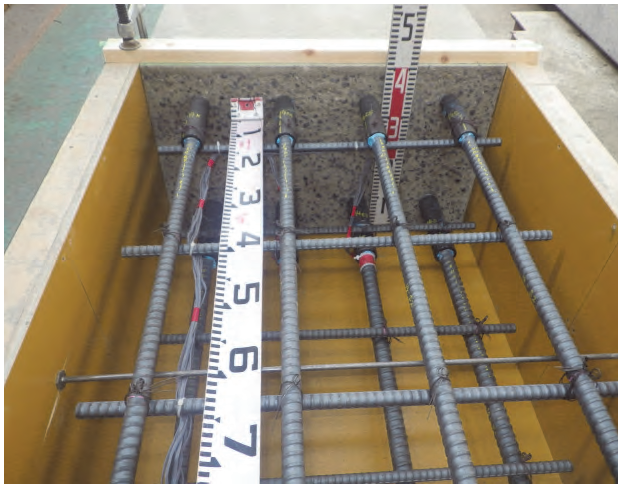
3)　残り半分のコンクリートを打設

図 3-6　ねじ節鉄筋継手を用いた試験体の製作手順の概要



a)　配筋状況

b)　コンクリート打設状況



c)　接合前の部材の状況

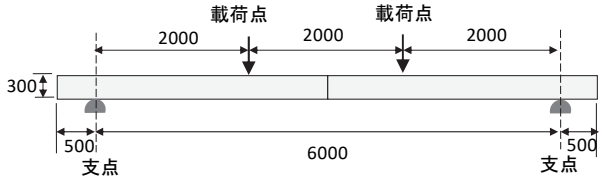
d)　グラウト充填状況

図 3-7　ねじ節鉄筋継手を用いた試験体の製作状況例（試験体 No.15）

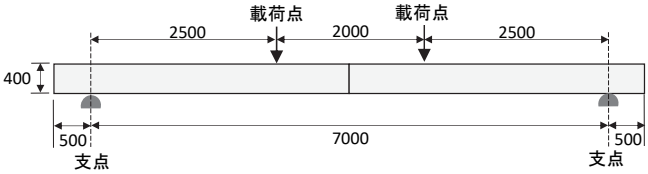
3.2　載荷方法

載荷方法は、**図 3-8** に示すように、等曲げモーメント区間を 2000mm とした 4 点曲げの一方向繰返し載荷とした。せん断スパン長は、小型試験体、中型試験体、大型試験体で、それぞれ、2000mm、2500mm、3500mm とした。

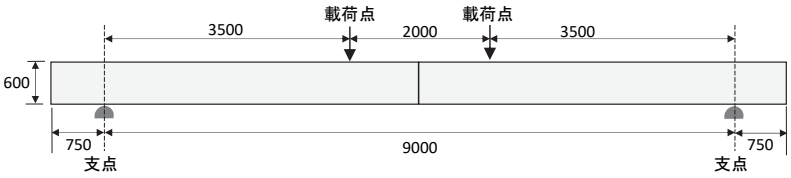
a)　載荷状況の例



b)　小型試験体



c)　中型試験体



d) 大型試験体

図 3-8　載荷方法

たわみとひずみの測定位置の概要を**図 3-9** に示す。たわみは、スパン中央付近の下面に変位計を設置して測定した。なお、変位計のストロークの都合上、スパン中央から東側支点の方に 30mm ずらしている。

ひずみは、等曲げモーメント区間において、機械式継手を配置していない区間（**図 3-9** の①、②断面）、機械式継手を配置した区間の中央の断面（③）、機械式継手の近傍（④）、の 4 断面を設定した。1 断面あたり 2 箇所で引張側鉄筋ひずみと圧縮縁コンクリートひずみを測定した。機械式継手を用いない試験体も同様の位置で測定した。ひずみの測定位置の詳細を**表 3-3** に示す。

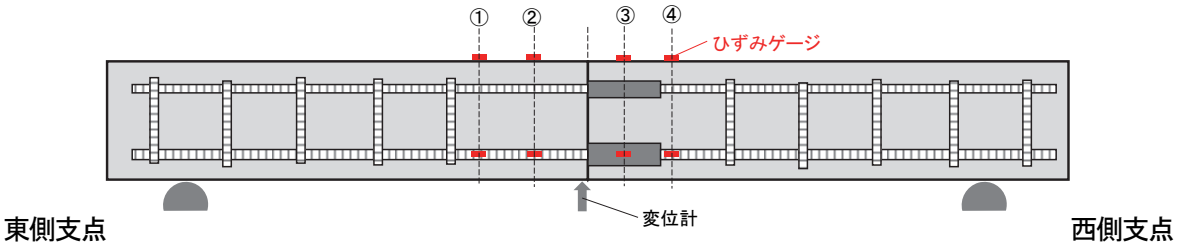


図 3-9　たわとひずみの測定位置の概要

表 3-3　測定位置の詳細

試験体種類	機械式継手/鉄筋種類	センターラインからの距離（mm）*図 3-9 の西側支点の方向を正			
		①	②	③	④
小型試験体	なし/竹節鉄筋	-310	-160	160	310
	モルタル充填継手 G1	-310	-160	160	310
	ねじ節鉄筋継手 T1	-310	-160	65	135
中型試験体	なし/竹節鉄筋	-440	-218	218	440
	なし/ねじ節鉄筋	-440	-218	185	375
	モルタル充填継手 G1	-440	218	218	440
	モルタル充填継手 G2	-440	218	185	375
	ねじ節鉄筋継手 T1	-440	-218	94	193
	ねじ節鉄筋継手 T2	-440	-218	164	333
大型試験体	なし/竹節鉄筋	-645	320	320	645
	モルタル充填継手 G1	-645	320	320	645
	ねじ節鉄筋継手 T1	-645	320	122	249

曲げひび割れ幅を測定するため、図 3-10 に示すように検長 100mm のパイ型変位計を等曲げモーメント区間に 5 点設置した。既往研究 [7),11)]で機械式継手端部の曲げひび割れ幅が大きくなる場合があることが報告されているため、機械式継手の両端部にパイ型変位計を 3 点（スパン中央 1、2、 機械式継手端部）設置した。残り 2 点は、機械式継手の両端部の隣に生じた曲げひび割れ（曲げスパン 1、2）を対象に設置した。スパン中央 1、2 は、載荷前に試験体下面に設置した。その他は、ひび割れ発生後、試験体側面に設置した。パイ型変位計の設置状況を図 3-11 に示す。継手がない試験体は、機械式継手を用いた場合となるべく近い位置に生じた曲げひび割れを対象とした。なお、機械式継手を用いた試験体では概ね図 3-10 のように曲げひび割れが分布したが、継手がない試験体ではスパン中央のパイ型変位計の検長区間内に曲げひび割れが生じない場合もあった。

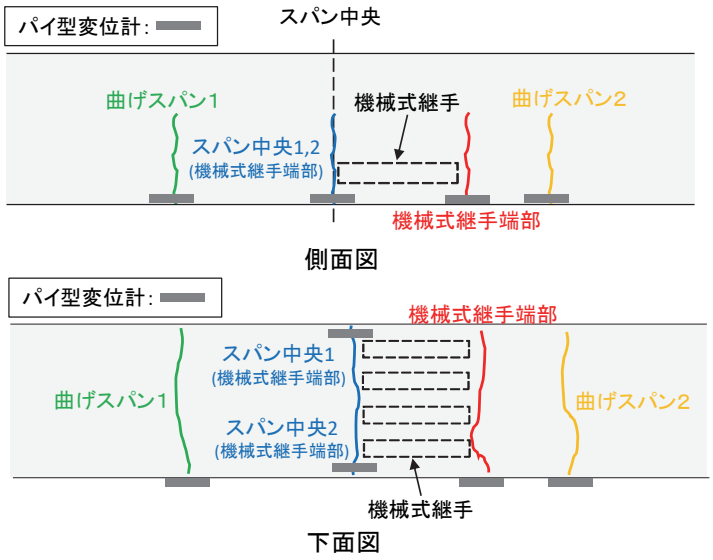
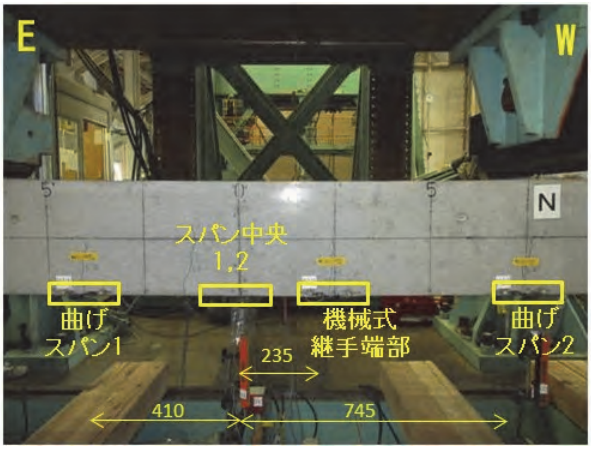
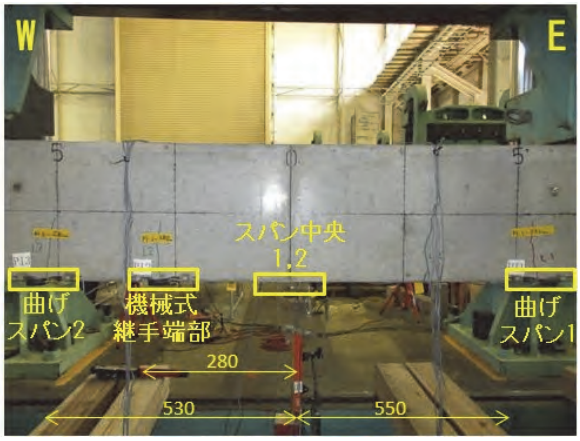


図 3-10　曲げひび割れ幅の測定位置の概要

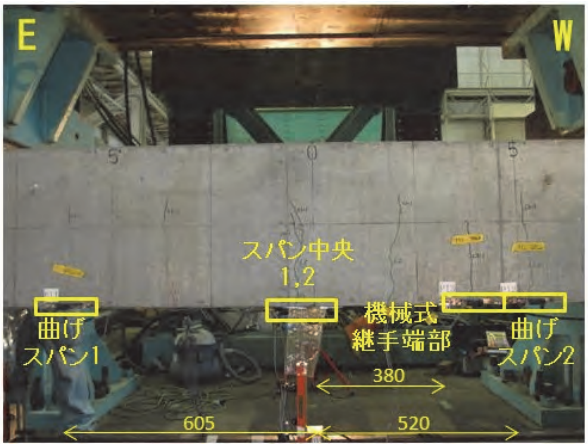


No.1

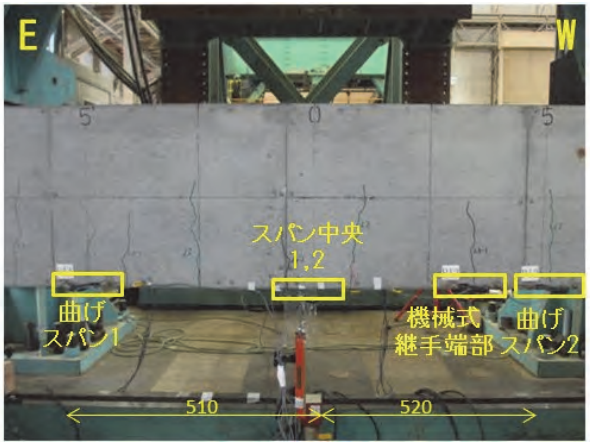


No.2

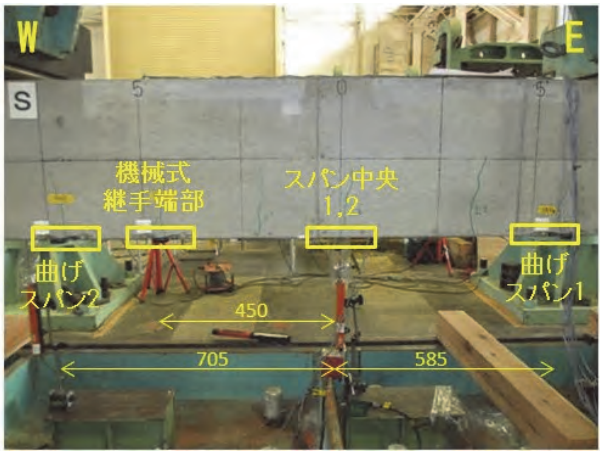
No.3



No.4



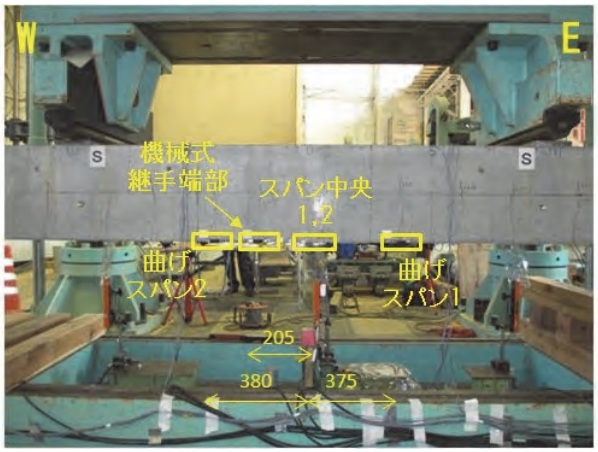
No.5



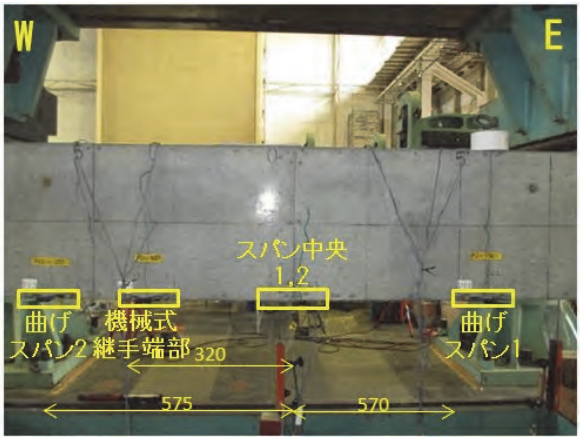
No.6

黄色枠：パイ型変位計の位置、E：東側、W：西側

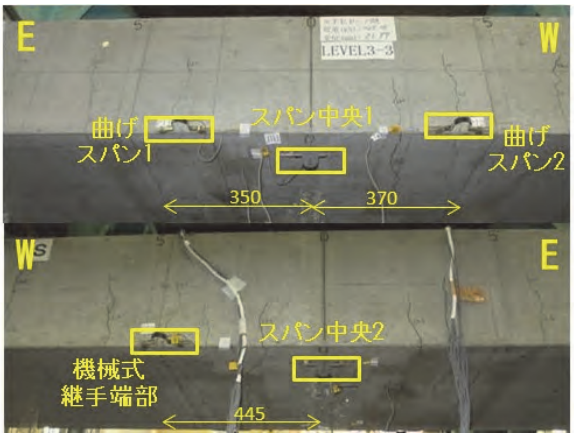
図 3-11　パイ型変位計の設置状況（1/4）



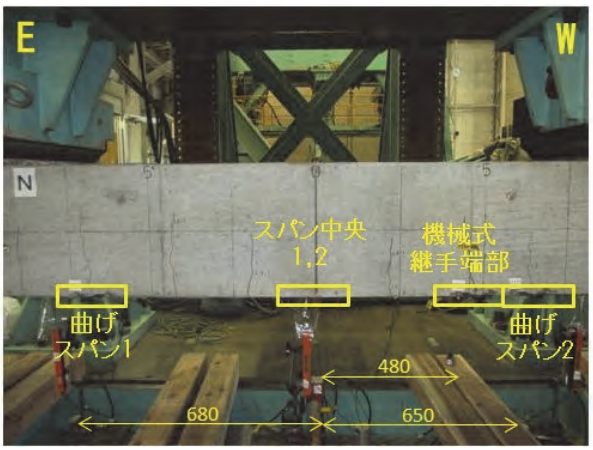
No.7



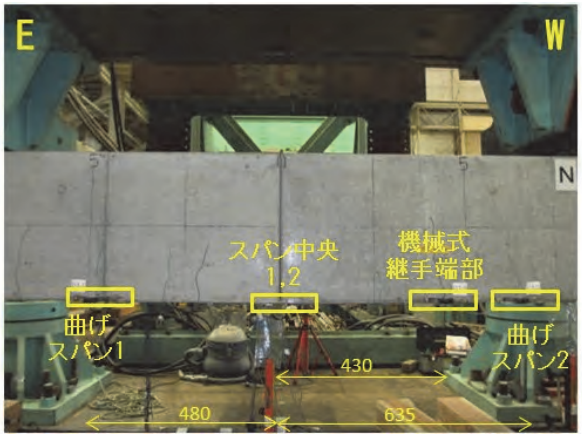
No.8



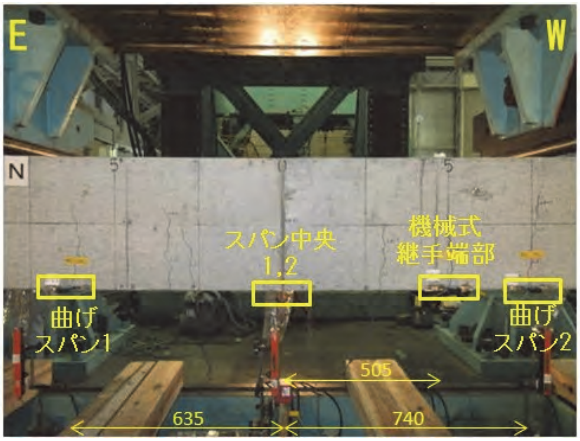
No.9



No.10



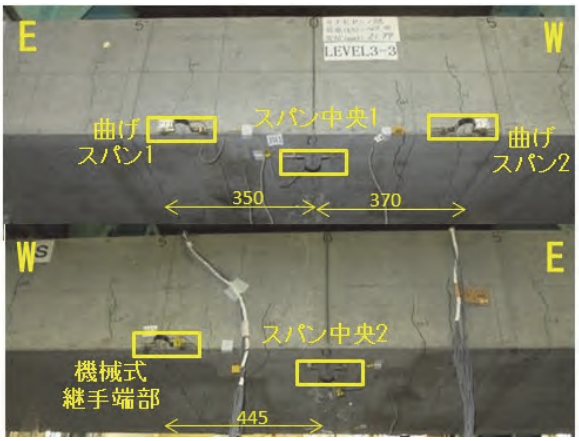
No.11



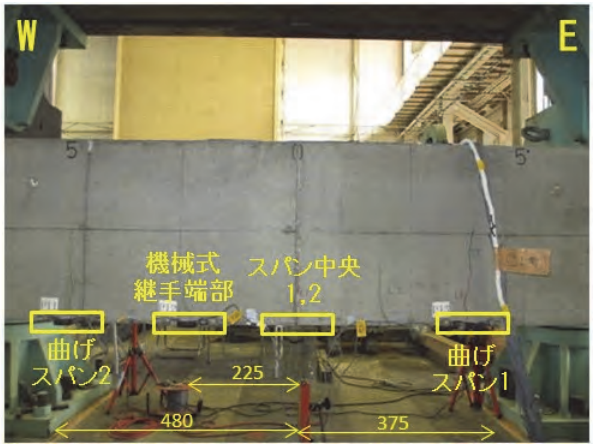
No.12

黄色枠：パイ型変位計の位置、E：東側、W：西側

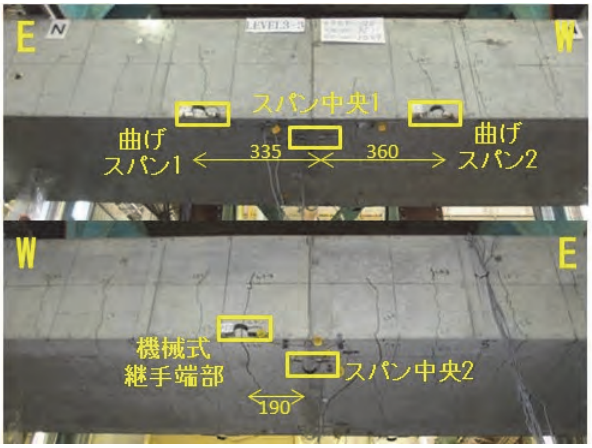
図 3-11　パイ型変位計の設置状況（2/4）



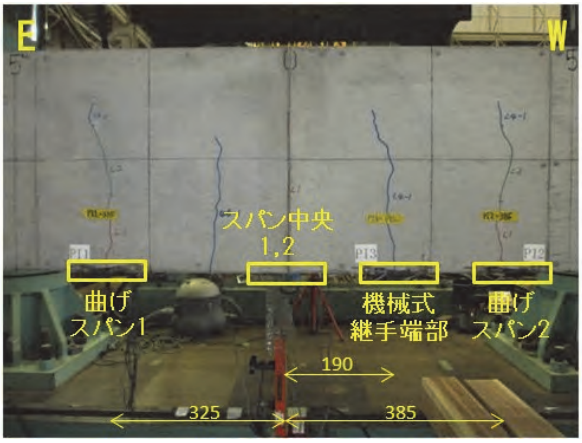
No.13



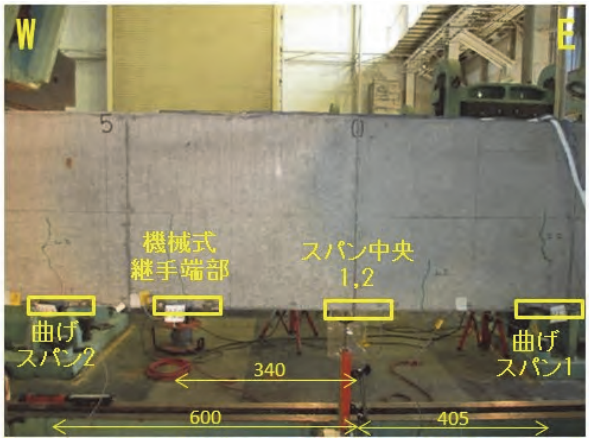
No.14



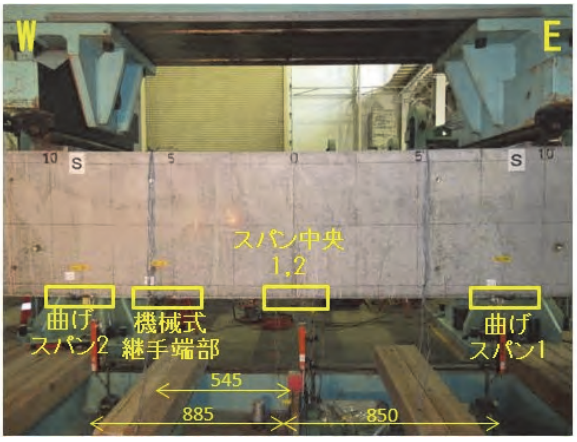
No.15



No.16



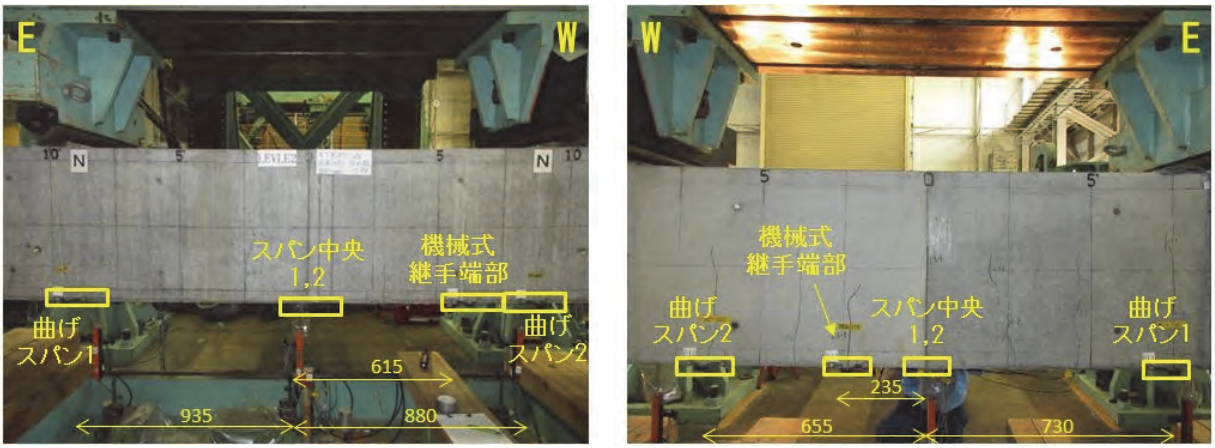
No.17



No.18

黄色枠：パイ型変位計の位置、E：東側、W：西側

図 3-11　パイ型変位計の設置状況（3/4）



No.19　　No.20

黄色枠：パイ型変位計の位置、E：東側、W：西側

図 3-11　パイ型変位計の設置状況（4/4）

載荷サイクルは、**図 3-12** のように設定し、載荷ステップ毎に荷重を増減させた。まず、曲げひび割れが発生するまで載荷して除荷し、その後、いずれかの測定位置で鉄筋応力が 100N/mm^2 に達するまで載荷して除荷した。なお、鉄筋応力は、載荷中に測定した鉄筋ひずみに弾性係数（200kN/mm^2）を乗じて推定し、目標値との差は 10N/mm^2 程度の範囲であった。次に、鉄筋応力が 180N/mm^2 に達するまで載荷して除荷することを 3 回繰り返した。鉄筋応力が 300N/mm^2 および降伏応力の場合も同様とした。載荷の制御方法は、鉄筋降伏までは荷重制御、鉄筋降伏後は変位制御とした。これらの鉄筋応力は、道路土工カルバート工指針において剛性カルバートの設計に用いられる許容応力等を参考に設定した [13]。

ただし、小型試験体については、引張鉄筋比が他の試験体よりも小さいために、曲げひび割れ発生以降に、鉄筋のひずみが急激に増加する挙動を示した。このため、目標とする鉄筋応力を 180、240、300N/mm^2 および降伏応力とした。載荷の制御方法は、鉄筋応力 300N/mm^2 までを荷重制御、これ以降は変位制御とした。

最後に、コンクリートの圧壊の発生または圧縮ひずみが 3500μ に到達するまで載荷した。ただし、実験装置の制約上、スパン中央の鉛直変位が 200mm に到達した試験体については、その時点で載荷を終了した。

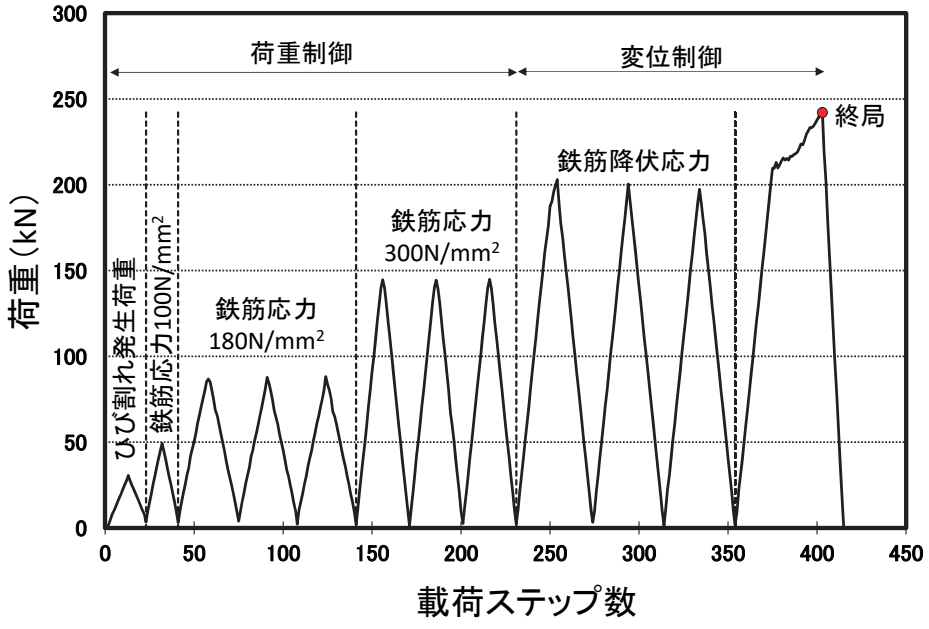


図 3-12　載荷サイクルの例

3.3 設計式との比較

曲げ載荷実験の結果が設計で想定される範囲であるかを確認するため、道路橋示方書Ⅲ編あるいはコンクリート標準示方書に示される算定式から得られる、破壊抵抗曲げモーメント、剛性、曲げひび割れ幅と実験結果を比較した。

算定にあたっては、コンクリートの設計基準強度を 40N/mm^2、コンクリートの弾性係数を 31kN/mm^2、引張強度を設計基準強度からの換算値（=0.23f_c'$^{2/3}$）とし、鋼材の材料特性値は道路橋示方書Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編に示される値を用いた[14]。

静的耐力については、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編に示される規定に基づき、ファイバーモデルを用いて、破壊抵抗曲げモーメントの特性値を算定した[14]。

剛性の算定値は、式(1)の換算断面二次モーメント[15]および**図 3-8** の載荷条件に対応する梁の微分方程式の解から得られる式(2)から算定した。

$$I_e = \left[\left(\frac{M_{crd}}{M_{dmax}}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{crd}}{M_{dmax}}\right)^3\right\} I_{cr}\right] \quad (1)$$

$$S_{calc} = \frac{4E_c I_e}{\left\{-\frac{x^3}{3} + \frac{(x-a)^3}{3}(a^2+ab)x\right\}} \quad (2)$$

ここに、I_e:換算断面二次モーメント、M_{crd}:断面に曲げひび割れが発生する限界の曲げモーメント、$M_{d\,max}$:変位・変形算定時の設計曲げモーメントの最大値、I_g:全断面の断面二次モーメント、I_{cr}:引張応力を受けるコンクリートを除いた断面二次モーメント、S_{calc}:剛性の算定値、E_c:コンクリートの弾性係数、a:4 点曲げ載荷におけるせん断スパン長、x:たわみの計測点までの距離、b:等曲げモーメント区間

なお、実験結果から得られる剛性は、荷重レベルにより異なるが、鉄筋が降伏応力に達する 1 回目の載荷における荷重－スパン中央たわみ関係から、式(3)のように定義して求めた。

$$S_{exp} = \frac{P_{ya} - P_{yb}}{u_{ya} - u_{yb}} \quad (3)$$

ここに、S_{exp}:実験結果から得られる剛性、P_{ya}:降伏荷重の 2/3 倍、P_{yb}:降伏荷重の 1/3 倍、u_{ya}:P_{ya}時のたわみ、u_{yb}:P_{yb}時のたわみ

曲げひび割れ幅は、コンクリート標準示方書に基づき、式(4)を用いて算定した[15]。

$$w = 1.1 k_1 k_2 k_3 \{4c + 0.7(c_s - \emptyset)\}\left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd}\right] \quad (4)$$

ここに、w：曲げひび割れ幅、k_1：鋼材の表面形状が曲げひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数（異形=1.0)、k_2：コンクリートの品質が曲げひび割れ幅に及ぼす影響（f_c'=40N/mm^2 として算定)、k_3：引張鋼材の段数の影響を表す係数（=1.0)、c：かぶり、c_s：鋼材の中心間隔、φ：鋼材径、σ_{se}：鉄筋応力の増加量、E_s：鋼材の弾性係数、ε'$_{csd}$：コンクリートの収縮およびクリープ等による曲げひび割れ幅の増加を考慮するための数値（=0 として算定)

なお、鋼材径には母材鉄筋の直径、かぶりには母材鉄筋のかぶりを用いて算定した。

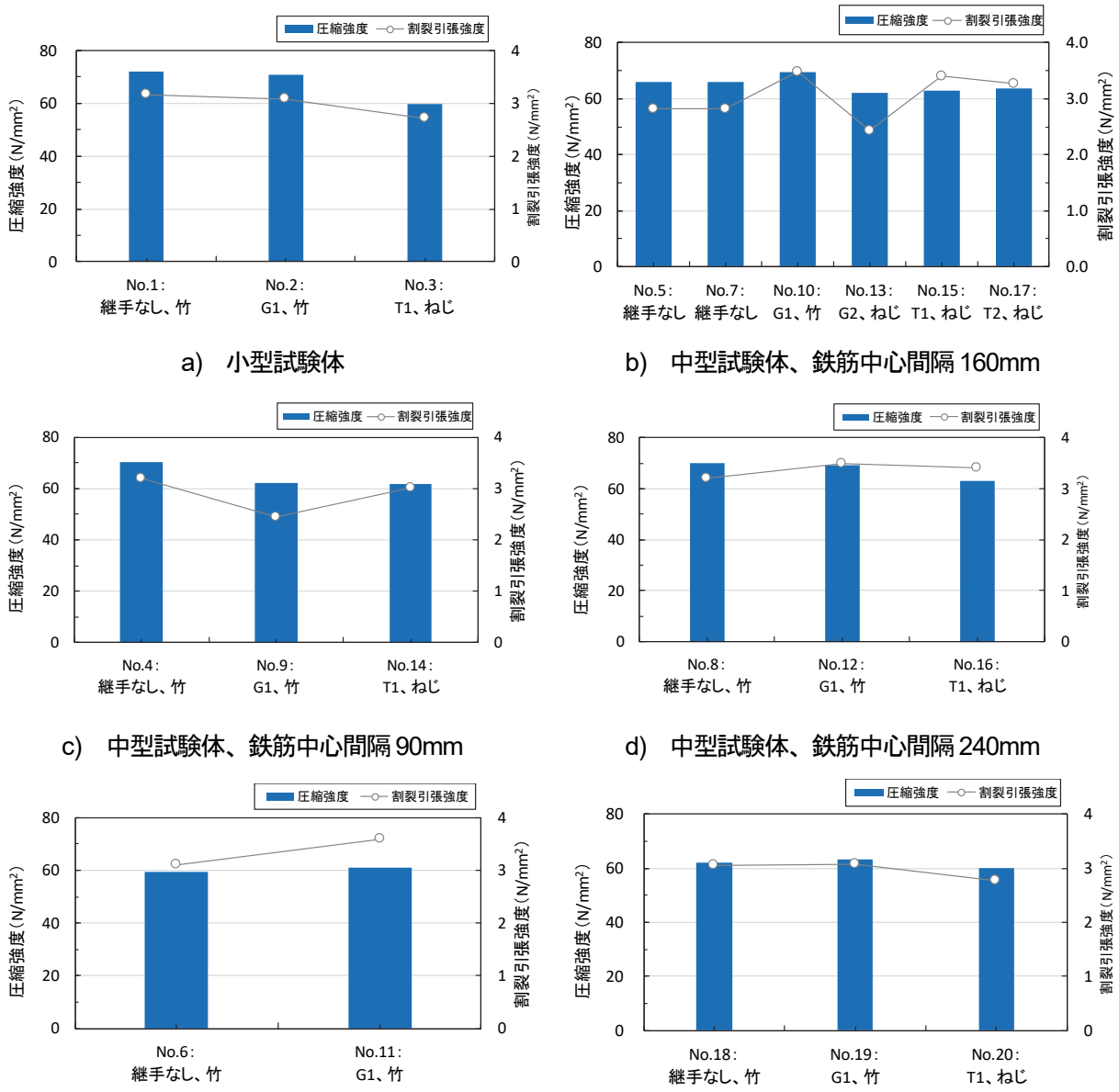
4　プレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験の結果と考察

4.1　試験体に用いたコンクリートの強度と静弾性係数

コンクリートの圧縮強度と割裂引張強度を**図 4-1** に示す。なお、載荷時の材齢（19～41 日）に合わせて実施した結果である。圧縮強度は 60～72N/mm^2 の範囲、割裂引張強度は 2.4～3.9N/mm^2 の範囲であった。載荷時の材齢とコンクリートの強度を**図 4-2** に示す。載荷時の材齢が経過するほど強度が高くなるような傾向は顕著ではなかった。これは、試験体の養生が気中養生であり、実験の期間が 2 月～6 月にわたって積算温度が異なるためと考えられる。

コンクリートの静弾性係数を**図 4-3** に示す。静弾性係数は、28～32kN/mm^2 の範囲であった。載荷時の材齢とコンクリートの静弾性係数を**図 4-4** に示す。強度の場合と同様に、載荷時の材齢が経過するほど静弾性係数が高くなるような傾向は顕著ではなかった。

以上の結果から、曲げ載荷実験に用いた試験体のコンクリートの強度と静弾性係数には、顕著な違いはないと考えられる。



a)　小型試験体

b)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm

c)　中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm

d)　中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm

e)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小

f)　大型試験体

図 4-1　コンクリートの圧縮強度と割裂引張強度

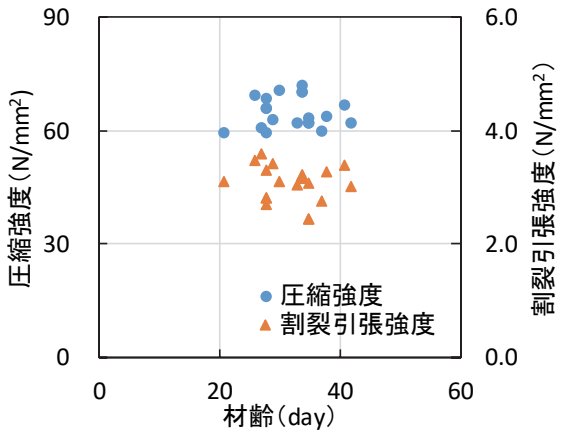
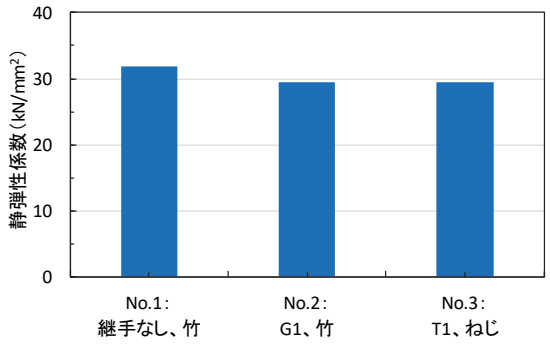
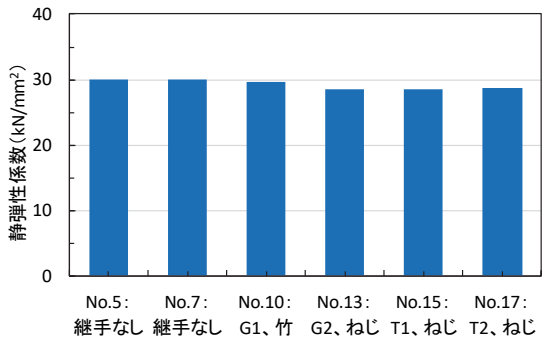


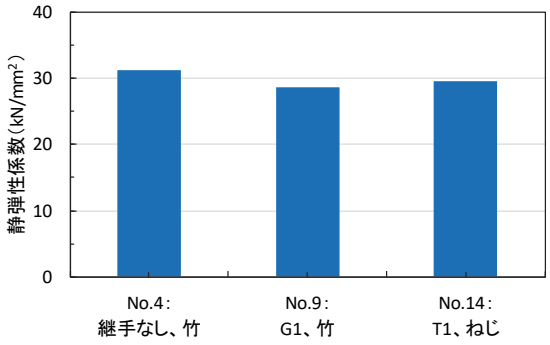
図 4-2　載荷時の材齢とコンクリートの強度



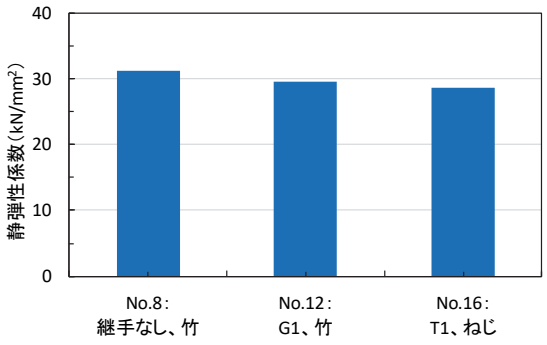
a)　小型試験体



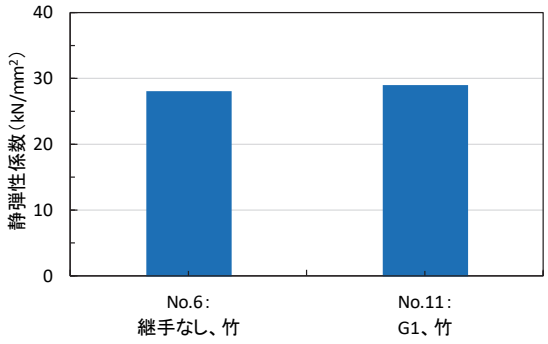
b)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm



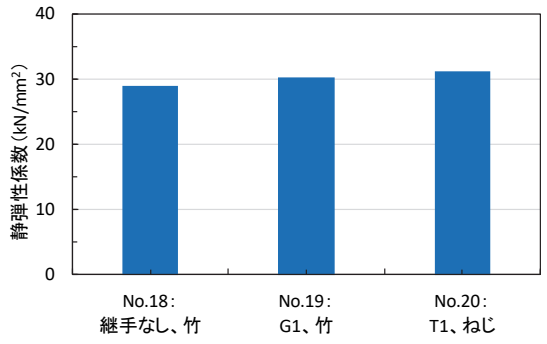
c)　中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm



d)　中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm



e)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小



f)　大型試験体

図 4-3　コンクリートの静弾性係数

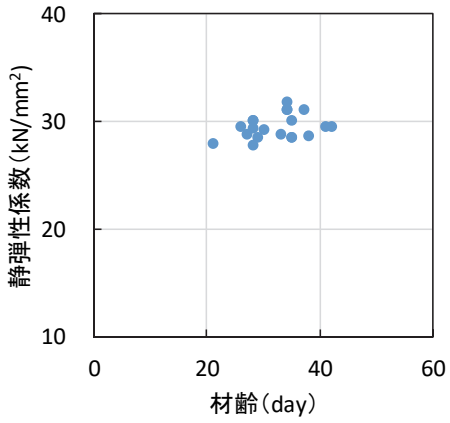


図 4-4　載荷時の材齢とコンクリートの静弾性係数

4.2 静的耐力

小型試験体

小型試験体の荷重－スパン中央たわみの関係を、包絡線で表示した結果を**図 4-5 a)**に示す。なお、繰返し載荷時の挙動を含めた荷重－スパン中央関係は、**参考資料３**に示す。

No.1：継手なし試験体では、コンクリートの圧縮ひずみが 3500 μ に到達して載荷を終了した。No.2：G1 試験体および No.2：G1 試験体は、スパン中央たわみが 200mm に到達して載荷を終了し、コンクリートの最大圧縮ひずみはそれぞれ、3100 μ および 2900 μ であった。機械式継手を用いた試験体の載荷終了時の引張鉄筋の最大ひずみは 16000～20000 μ の範囲であり、**図 2-3** に示した機械式継手の伸び能力よりも小さい値であった。

小型試験体の最大曲げモーメントを**図 4-6 a)**に示す。機械式継手を用いた試験体は、継手なし試験体と同等の値であり、算定値に対しても同等であった。この傾向は、後述の中型試験体および大型試験体においても変わらなかった。本実験で用いた機械式継手は、母材鉄筋以上の強度を有するものであるため、同一断面に配置しても、最大曲げモーメントに及ぼす影響が小さかったものと考えられる。既往研究 [7),10)]においても、試験体の静的耐力は、算定値以上であることが確認されており、同様な報告がなされている。

中型試験体

中型試験体の荷重-スパン中央たわみの関係（包絡線を表示）を**図 4-5 b)～e)**に示す。

圧壊が生じて載荷を終了した試験体は、b) No.10：G1 試験体（3300μ）、No.15：T1 試験体（3300μ）、c) No.4：継手なし試験体（3300μ）、No.9：G1 試験（3600μ）、No.14：T1 試験体（3000μ）であった。圧壊の発生状況を**図 4-7 a)～e)**に示す。機械式継手を用いた試験体では、機械式継手を配置した区間を避けるように圧壊が生じる傾向にあった。その他の試験体は、スパン中央たわみが 200mm に到達して載荷を終了し、コンクリートの最大圧縮ひずみは 2800～3100μ の範囲であった。機械式継手を用いた試験体の載荷終了時の引張鉄筋の最大ひずみは 15000～22000μ の範囲であり、**図 2-7** に示した機械式継手の伸び能力よりも小さい値であった。なお、機械式継手のかぶりを 30mm とした No.11：G1 試験体では、終局時にかぶりがはく落する可能性も考えられていたが、はく落は発生しなかった。

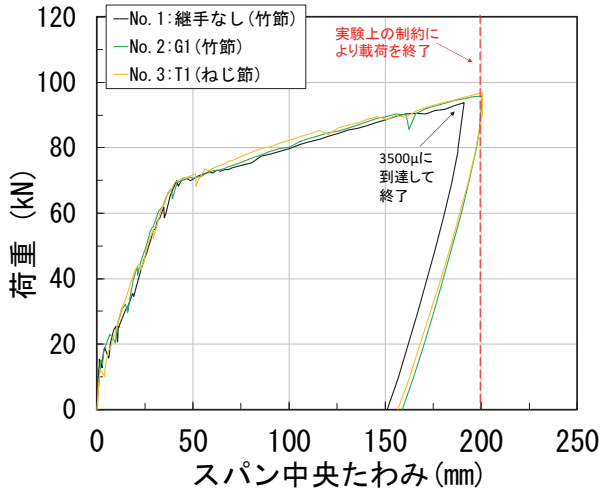
中型試験体の最大曲げモーメントを**図 4-6 b)～e)**に示す。いずれの場合においても、機械式継手を用いた試験体は、継手なし試験体と同等の値であり、算定値に対しても同等であった。なお、**図 4-6 e)**では、No.11：G1 試験体の方が算定値は小さいが、これは No.6：継手なし試験体よりも有効高さが小さいためである。

大型試験体

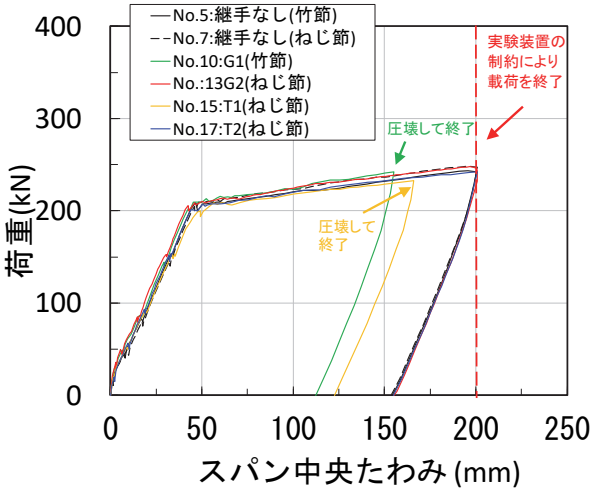
大型試験体の荷重-スパン中央たわみの関係（包絡線を表示）を**図 4-5 f)**に示す。圧壊が生じて載荷を終了した試験体は、No.20：T1 試験体（3100 μ）であった。No.18：継手なし試験体および No.19：G1 試験体は、スパン中央たわみが 200mm に到達して載荷を終了し、コンクリートの最大圧縮ひずみはそれぞれ、3000 μ および 3100μ であった。圧壊の発生状況を**図 4-7 f)**に示す。中型試験体と同様に、機械式継手を配置した区間を避けるように圧壊が生じた。機械式継手を用いた試験体の載荷終了時の引張鉄筋の最大ひずみは 14000～18000μ の範囲であり、**図 2-11** に示した機械式継手の伸び能力よりも小さい値であった。

大型試験体の最大曲げモーメントを**図 4-6 f)**に示す。機械式継手を用いた試験体は、継手なし試験体と同等の値であり、算定値に対しても同等であった。

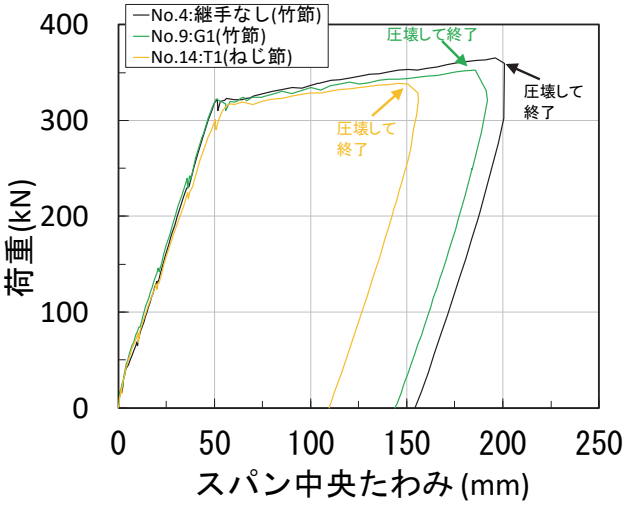
以上から、いずれの寸法の試験体においても、同一断面に機械式継手を用いた場合の影響は顕著ではなく、曲げに対して、設計で想定される静的耐力を有することを確認できた。また、同一断面への機械式継手の配置が圧縮側コンクリートの破壊性状に及ぼす影響については、機械式継手を配置した区間を避けるように圧壊が生じる傾向はあったものの、圧壊が早期に生じるなどの悪影響は認められなかった。



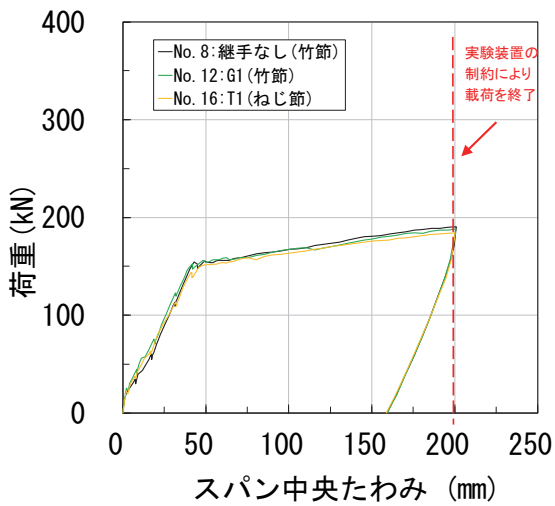
a) 小型試験体



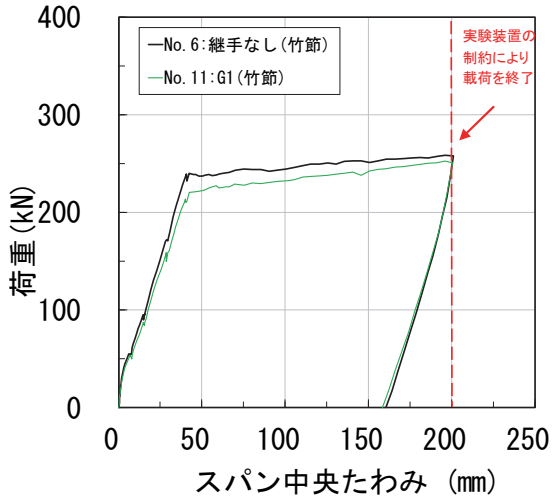
b) 中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm



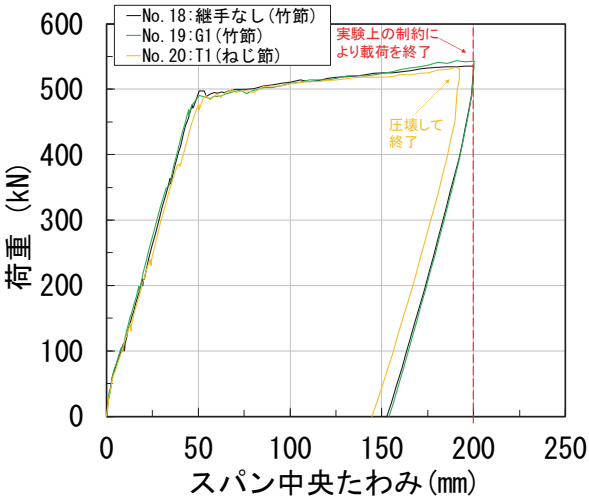
c) 中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm



d) 中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm



e) 中型試験体、かぶり小



f) 大型試験体

図 4-5 荷重—スパン中央たわみ関係

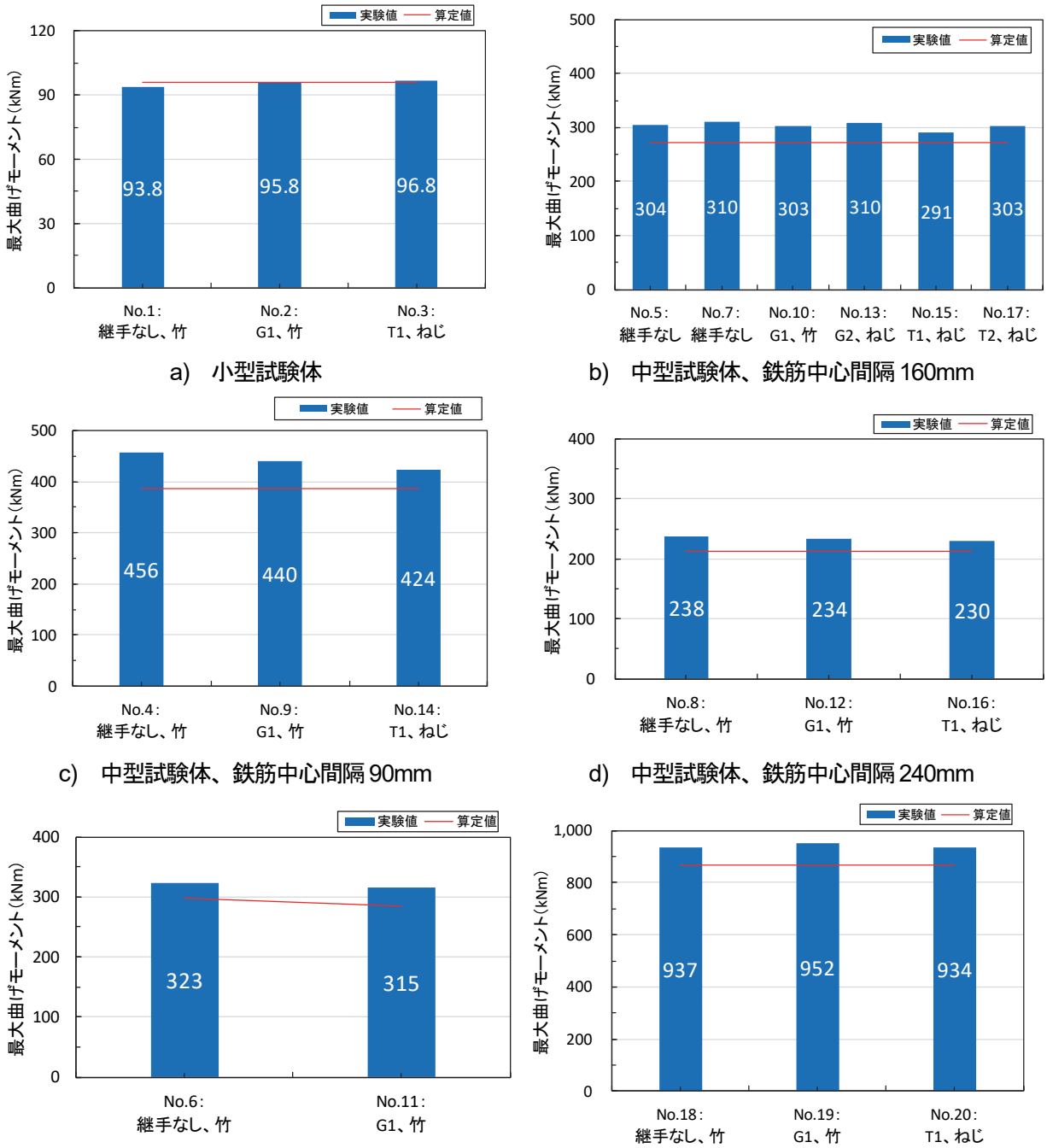
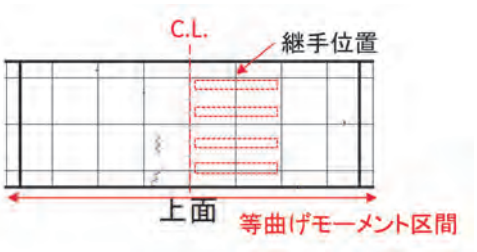
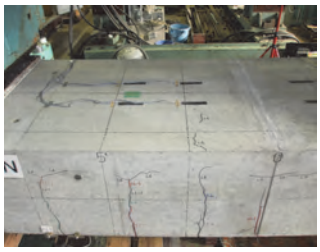
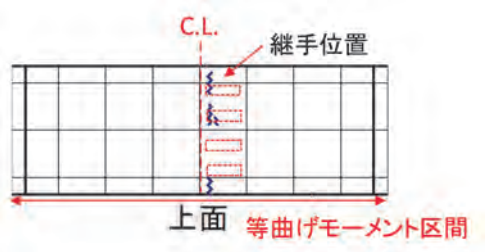


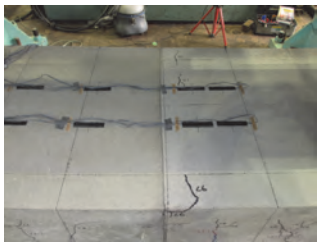
図 4-6 最大曲げモーメント



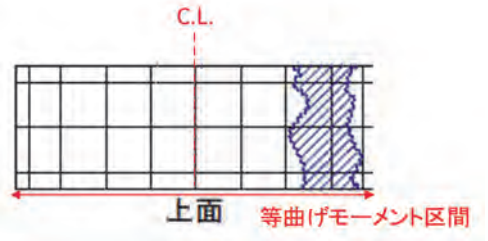


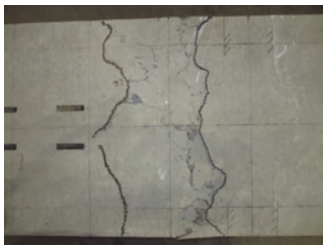
a)　No.10：G1(竹節)



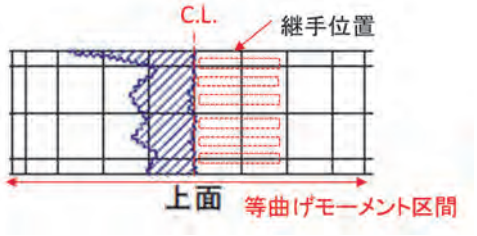


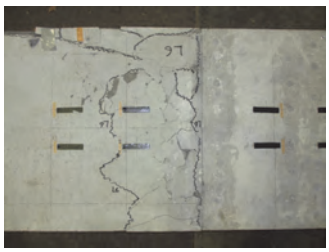
b)　No.15：T1(竹節)



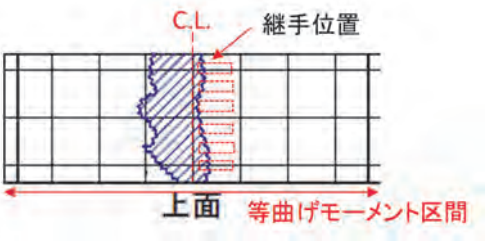


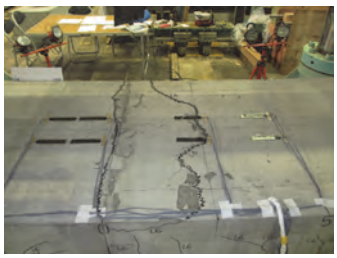
c)　No.4: 継手なし(竹節)



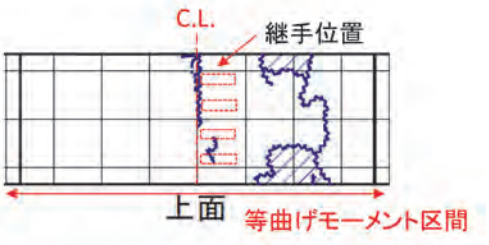


d)　No.9：G1(竹節)





e)　No.14：T1(ねじ節)



f)　No.20：T1(ねじ節)

図 4-7　圧壊の発生状況（斜線部：圧壊部、波線：剥離によるひび割れ）

4.3 変形挙動

小型試験体

小型試験体の剛性の実験値（式(2)より）と算定値（式(3)より）を**図 4-8 a)**に示す。No.1：継手なし試験体およびNo.3：T1 試験体の剛性は、算定値に対して同等の値を示した。一方、No.2：G1 試験体の剛性は、他と比較して算定値よりも大きかった。これは、機械式継手 G1 のスリーブの形状が大きいために、機械式継手を配置した区間の曲げ剛性が増加した影響によると考えられる。

スパン中央残留たわみを**図 4-9 a)**に示す。No.3：T1 試験体の初期の残留たわみが大きいが、その後の増加割合は小さく、最終的には No.1：継手なし（竹節）試験体との差は数 mm 程度となり顕著な差はなかった。また、同荷重レベルでの繰返し載荷後の残留たわみは、ほとんど増加しなかった。

中型試験体

中型試験体の剛性の実験値と算定値を**図 4-8 b)～e)**に示す。各試験体の剛性は、算定値に対して同等以上の値を示した。なお、**図 4-8 e)**では、No.11：G1 試験体の方が算定値は小さくなっているが、これはNo.6：継手なし試験体よりも有効高さが小さいためである。

スパン中央残留たわみを**図 4-9 a)～e)**に示す。機械式継手を用いた試験体は、いずれも継手なし試験体の残留たわみと同程度であり、顕著な差はなかった。また、同荷重レベルでの繰返し載荷後の残留たわみは、ほとんど増加しなかった。

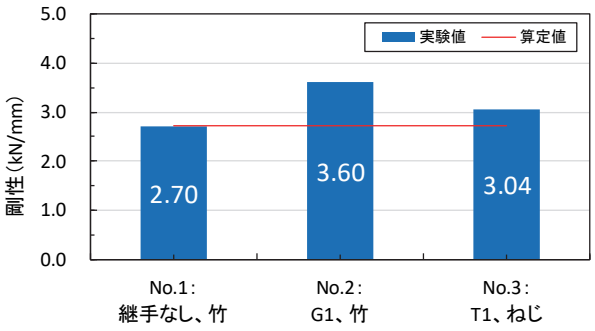
大型試験体

大型試験体の剛性の実験値と算定値を**図 4-8 f)**に示す。各試験体の剛性は、算定値に対して同等以上の値を示した。

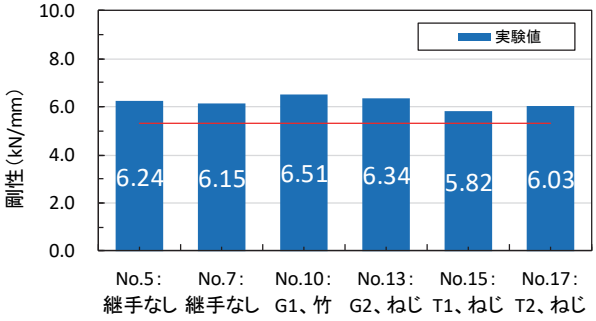
スパン中央残留たわみを**図 4-9 f)**に示す。機械式継手を用いた試験体は、いずれも継手なし試験体の残留たわみと同程度であり、顕著な差はなかった。また、同荷重レベルでの繰返し載荷後の残留たわみは、ほとんど増加しなかった。

以上から、同一断面に機械式継手を用いた場合の影響は顕著ではなく、曲げに対して、設計で想定される剛性を有し、残留たわみも継手が無い場合と同程度であることを確認できた。なお、小型試験体では、G1 試験体の剛性が比較的大きい値を示したが、中型試験体と大型試験体ではこの傾向は顕著でなかった。小型試験体は引張鉄筋比が小さいため、機械式継手の影響が中型試験体と大型試験体と比較して大きくなったものと推察される。

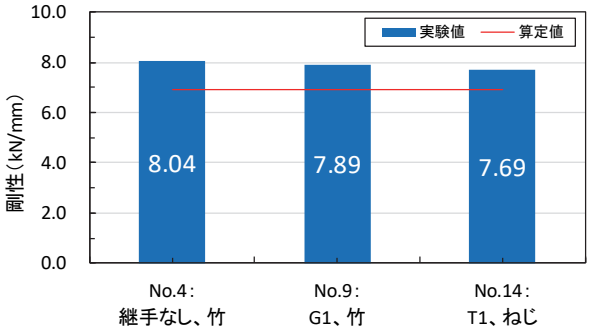
なお、軸方向ひずみ分布を**参考資料 4** に示す。いずれの試験体の断面においても、鉄筋が降伏するまで中立軸からの距離に応じて軸方向ひずみが増加し、平面保持が成立していると考えられる挙動を示した。



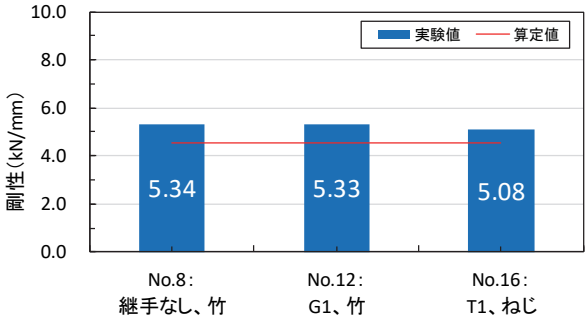
a)　小型試験体



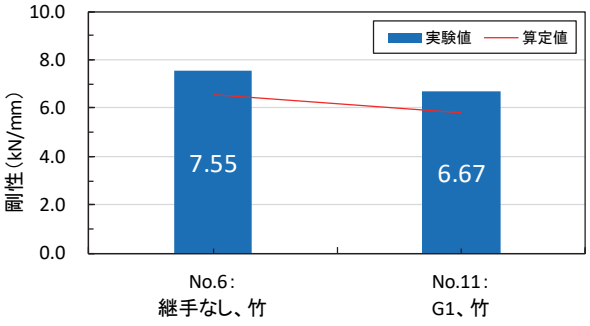
b)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm



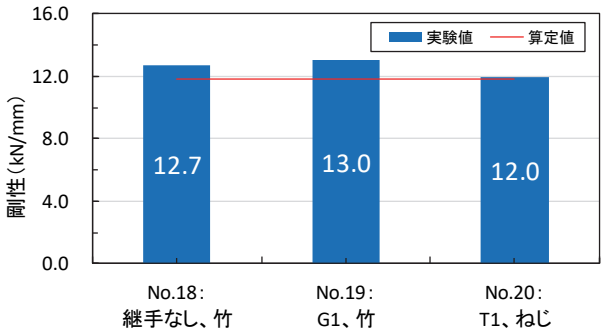
c)　中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm



d)　中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm

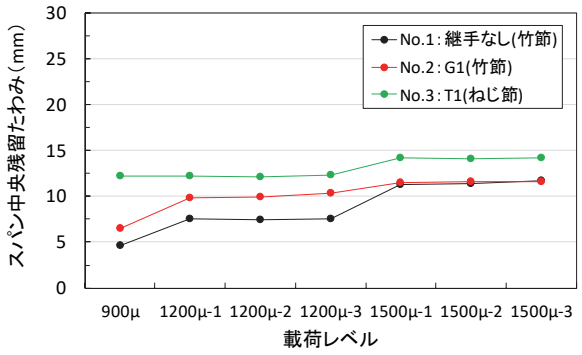


e)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小

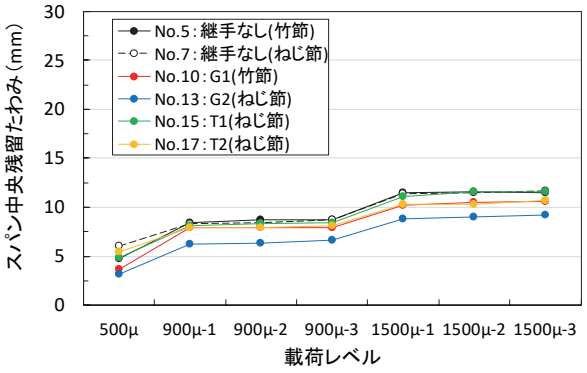


f)　大型試験体

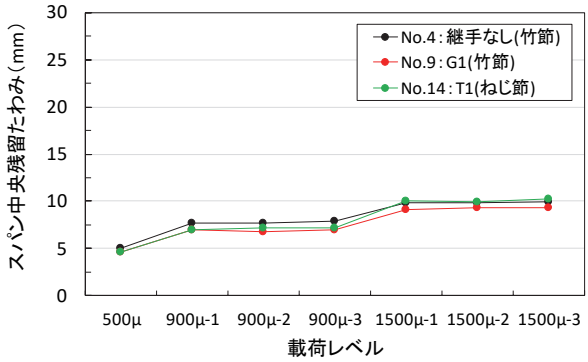
図 4-8　剛性



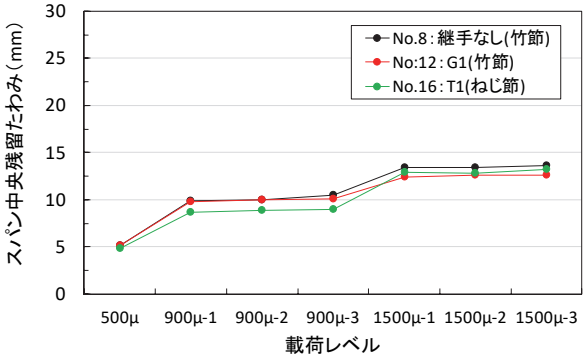
a)　小型試験体



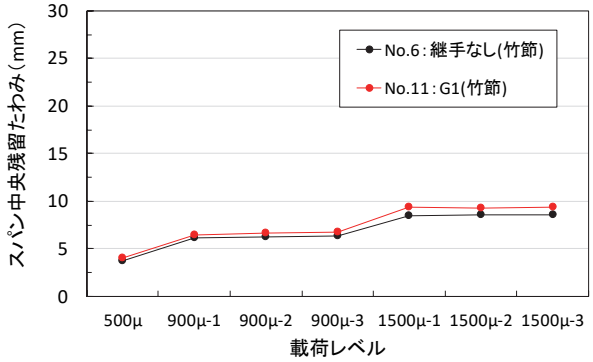
b)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm



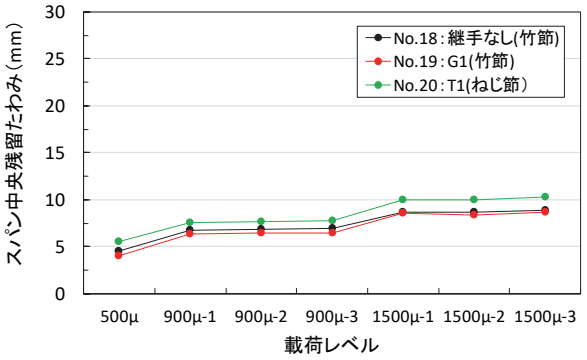
c)　中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm



d)　中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm



e)　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小



f)　大型試験体

図 4-9　スパン中央残留たわみ

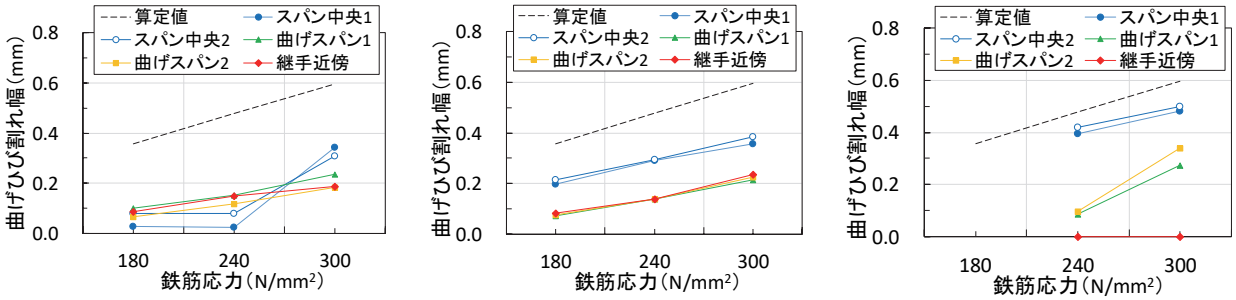
4.4　ひび割れ性状

小型試験体

鉄筋応力が、180N/mm^2、240N/mm^2、300N/mm^{2}時における曲げひび割れ幅の比較を**図 4-10** に示す。図中には式(4)を用いて算定した曲げひび割れ幅も合わせて示す。なお、No.3：T1 試験体については、180N/mm^{2}まで、想定した位置に曲げひび割れが生じなかったため、240N/mm^2 以降の結果を示している。結果として、いずれの試験体においても、算定値を下回るひび割れ幅であった。

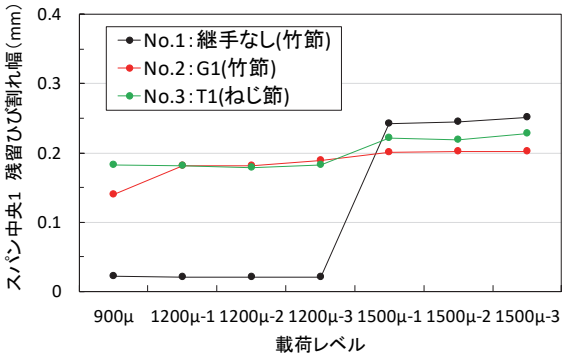
残留ひび割れ幅を**図 4-11** に示す。機械式継手を用いた試験体の残留ひび割れ幅は、No.1：継手なし試験体と同等以下であった。なお、**a) スパン中央 1** では、1200μまで、No.1：継手なし試験体の残留ひび割れ幅がほぼゼロであるが、これはスパン中央に曲げひび割れが生じていなかったためである。

なお、ひび割れスケッチ図は、**参考資料 5** に示す。

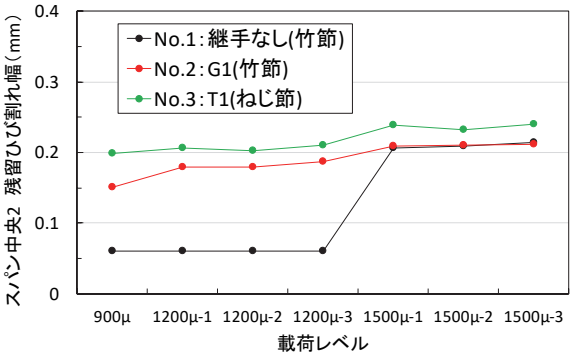


No.1：継手なし（竹節）　　No.2：G1（竹節）　　No.3：T1（ねじ節）

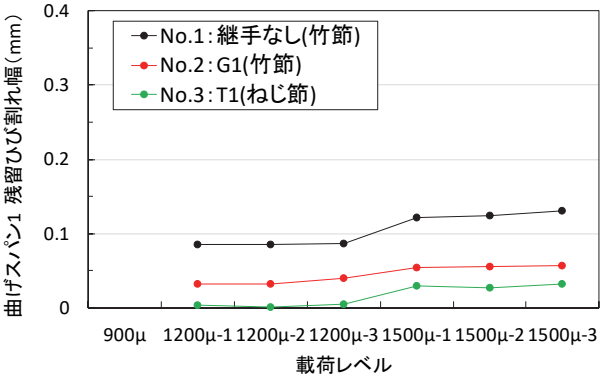
図 4-10　小型試験体の各鉄筋応力時における曲げひび割れ幅（パイ型変位計の測定値と式(4)による算定値）



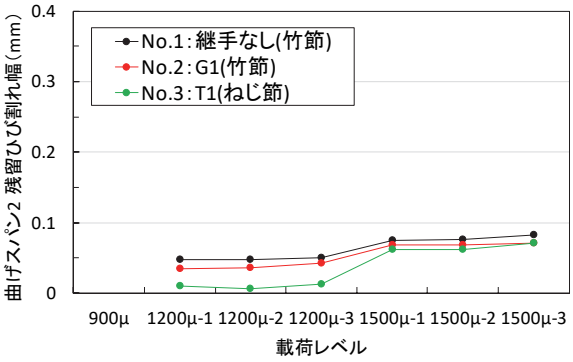
a)　スパン中央１



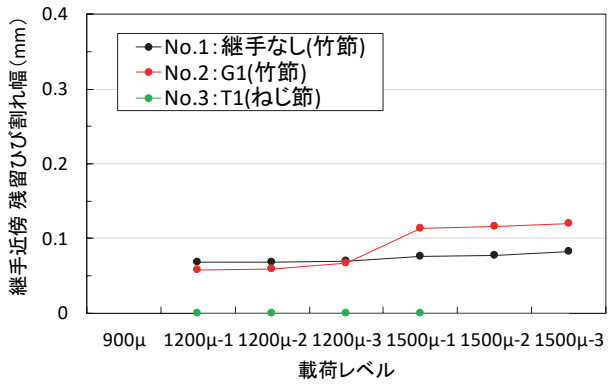
b)　スパン中央２



c)　曲げスパン１



d)　曲げスパン２



e)　継手近傍

図 4-11　小型試験体の残留ひび割れ幅

中型試験体

鉄筋応力が、100N/mm^2、180N/mm^2、300N/mm^{2}時における曲げひび割れ幅の比較を**図 4-12 a)～d)**に示す。図中には式(4)を用いて算定した曲げひび割れ幅も合わせて示す。また、残留ひび割れ幅を**図 4-13～16** に示す。

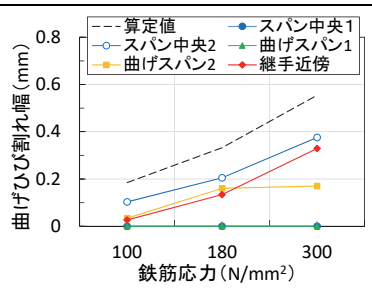
鉄筋中心間隔を 160mm とした場合、鉄筋応力 300N/mm^{2}時の曲げスパン 1 において No.15：T1 試験体の曲げひび割れ幅が算定値をやや上回っているものの、その他はいずれの試験体も算定値と同程度以下であった（**図 4-12 a)**）。機械式継手を用いた試験体の残留ひび割れ幅は、1500μ レベルにおいて 0.2mm 未満であった（**図 4-13**）。

鉄筋中心間隔を 90mm とした場合、No.9：G1 試験体、No.14：T1 試験体のスパン中央における曲げひび割れ幅が算定値を上回る結果となった（**図 4-12 b)**）。**表 3-1** に示したように、機械式継手の寸法は鉄筋よりも大きいため、鉄筋中心間隔を狭くして配筋を密にすると断面に占める鋼材の割合が局所的に大きくなる。このため、曲げ剛性の局所的な変化の影響が顕著になり、機械式継手部の周囲の曲げひび割れ幅に影響を及ぼしたものと推察される。機械式継手を用いた試験体の残留ひび割れ幅は、1500μ レベルにおいて 0.25mm 程度以下であった（**図 4-14**）。なお、載荷中の曲げひび割れ幅と比較して、残留ひび割れ幅は、鉄筋中心間隔 160mm の場合との差が小さい。これは、**図 2-7** に示したように、使用した機械式継手のすべり量が小さいため、除荷後の変形に及ぼす影響が小さかったためと考えられる。なお、載荷試験後に機械式継手部の解体調査を行ったが、鉄筋の抜け出しは認められず、機械式継手のグラウトや機械式継手周辺のコンクリートの充填状況も特に問題はなかった（**参考資料 6**）。

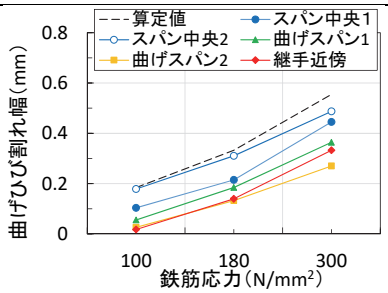
鉄筋中心間隔を 240mm とした場合は、いずれの試験体も算定値を下回る曲げひび割れ幅であった（**図 4-12 c)**）。機械式継手を用いた試験体の残留ひび割れ幅は、1500μ レベルにおいて 0.2mm 程度以下であった（**図 4-15**）。

鉄筋中心間隔を 160mm としてかぶりを小さくした場合、No.11：G1 試験体では、算定値を下回る曲げひび割れ幅であった（**図 4-12 d)**）。No.6：継手なし試験体では、スパン中央 2 に設置したパイ型変位が動作不良となり、目視で観察された曲げひび割れ幅よりも大きい値を示した。機械式継手を用いた試験体の残留ひび割れ幅は、パイ型変位計の動作不良の結果を除き、1500μ レベルにおいて 0.2mm 未満であった（**図 4-16**）。

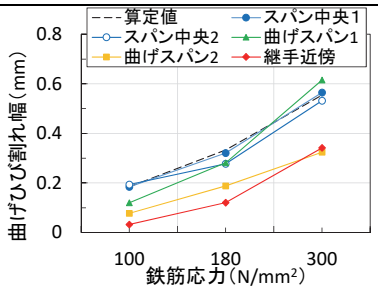
以上の実験結果から、鉄筋中心間隔を 90mm として密に配筋した場合、その影響で継手がない場合と比較して曲げひび割れの幅が大きくなる場合があることが確認された。ただし、鉄筋中心間隔を 160mm、240mm と大きくした場合は、継手がない試験体と同程度の曲げひび割れ幅であり、機械式継手を同一断面に集中させた影響は顕著ではないと考えられた。



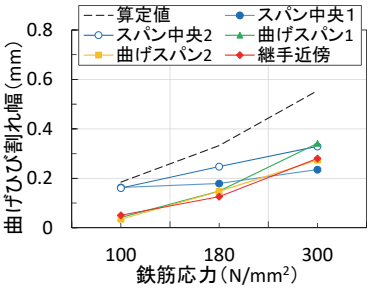
No.5：継手なし（竹節）



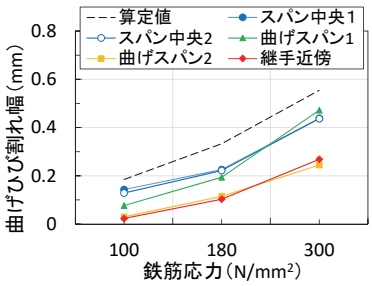
No.10：G1（竹節）



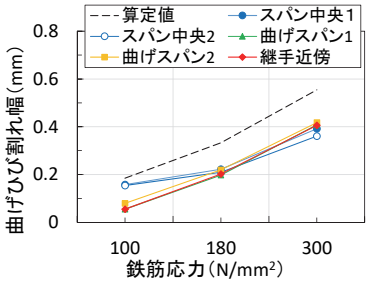
No.15：T1（ねじ節）



No.7：継手なし（ねじ節）

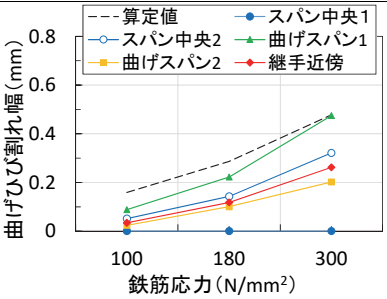


No.13：G2（ねじ節）

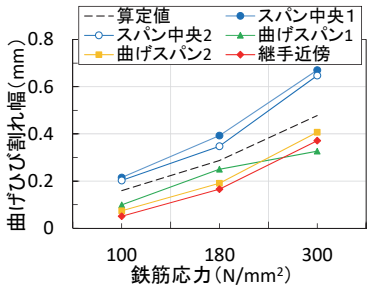


No.17：T2（ねじ節）

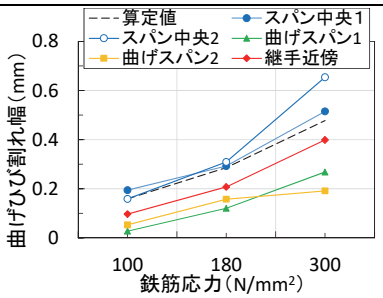
a) 鉄筋中心間隔 160mm



No.4：継手なし（竹節）

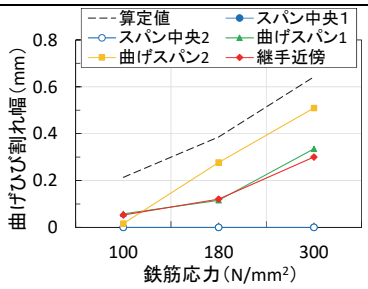


No.9 ：G1（竹節）

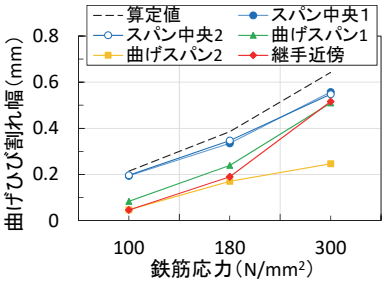


No.14：T1（ねじ節）

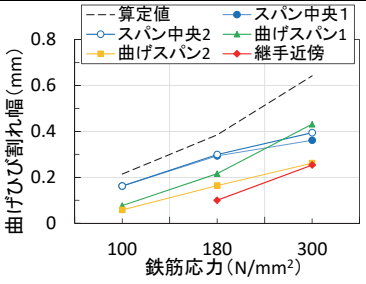
b) 鉄筋中心間隔 90mm



No.8：継手なし（竹節）

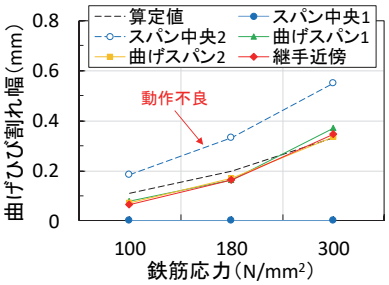


No.12：G1（竹節）

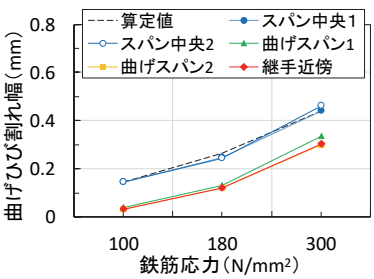


No.16：T1（ねじ節）

c) 鉄筋中心間隔 240mm



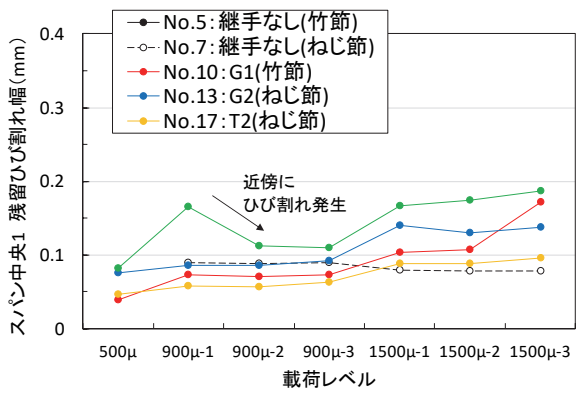
No.6：継手なし（竹節）



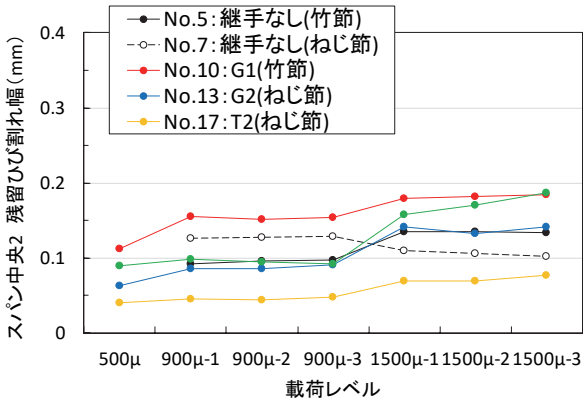
No.11：G1（竹節）

d) かぶり小

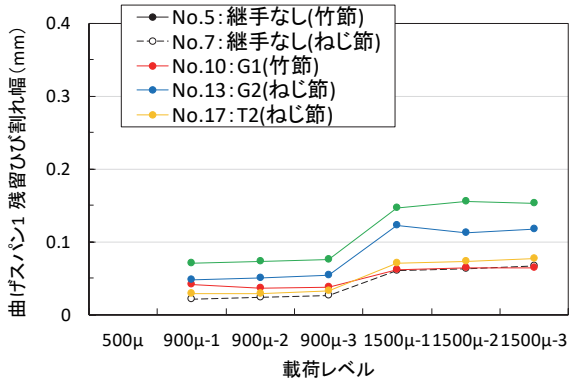
図 4-12　中型試験体の各鉄筋応力時における曲げひび割れ幅（パイ型変位計の測定値と式(4)による算定値）



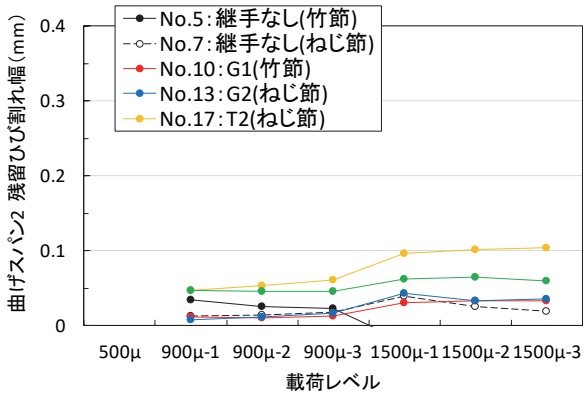
a)　スパン中央１



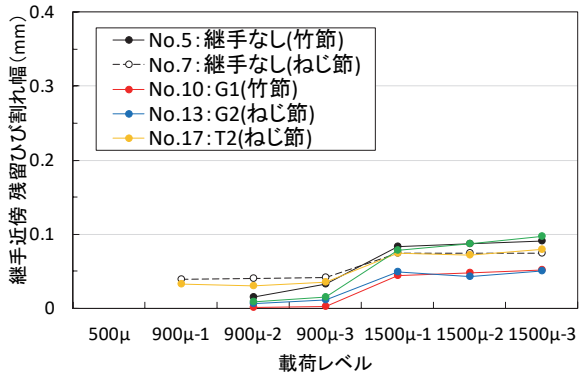
b)　スパン中央２



c)　曲げスパン１

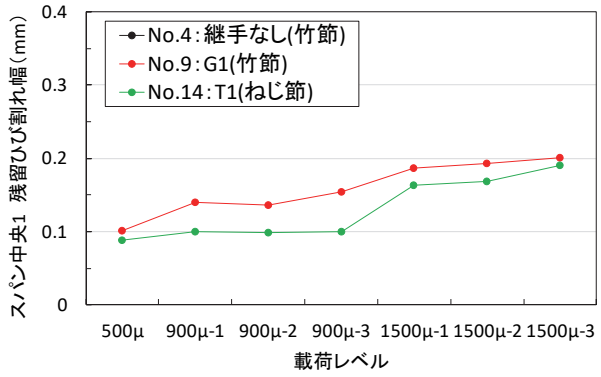


d)　曲げスパン２

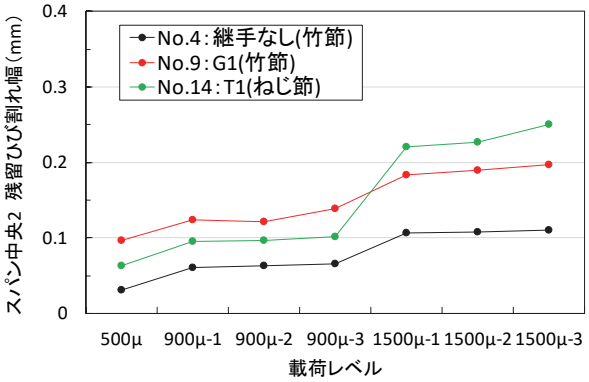


e)　継手近傍

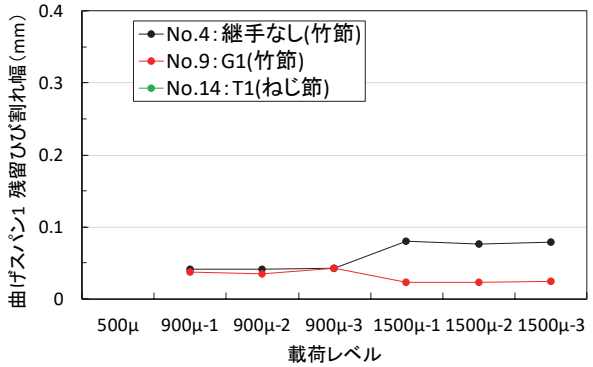
図 4-13　鉄筋中心間隔 160mm の中型試験体の残留ひび割れ幅



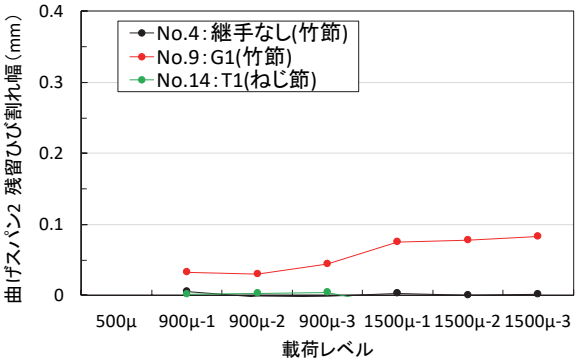
a)　スパン中央１



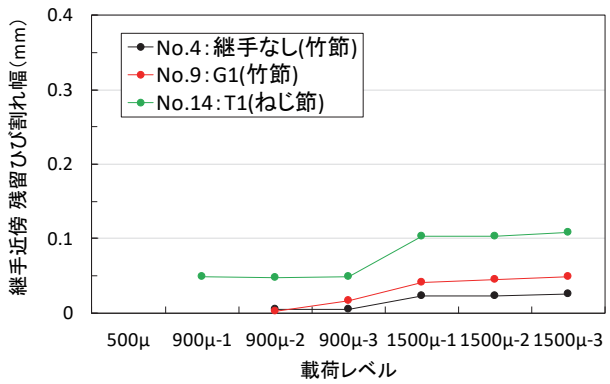
b)　スパン中央２



c)　曲げスパン１

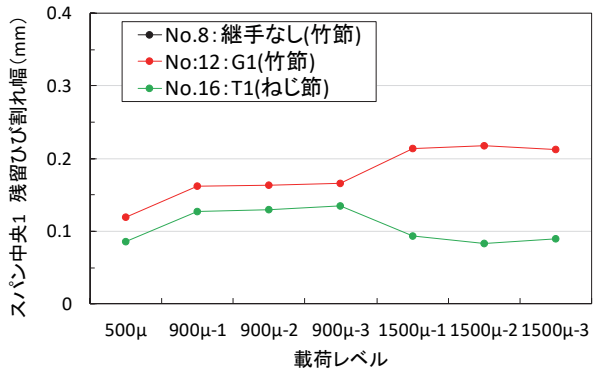


d)　曲げスパン２

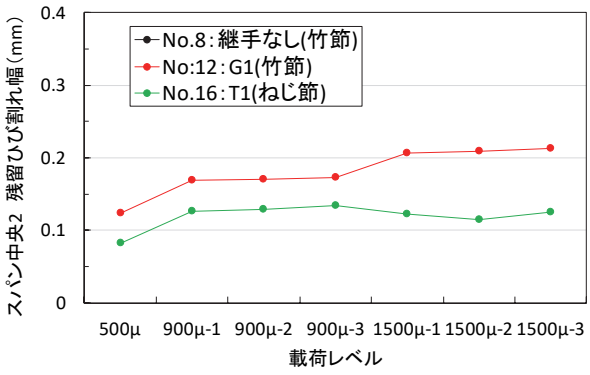


e)　継手近傍

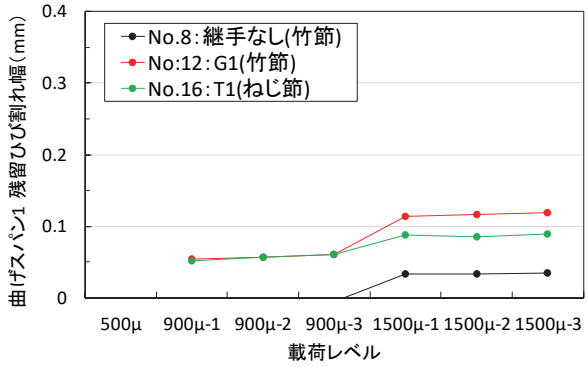
図 4-14　鉄筋中心間隔 90mm の中型試験体の残留ひび割れ幅



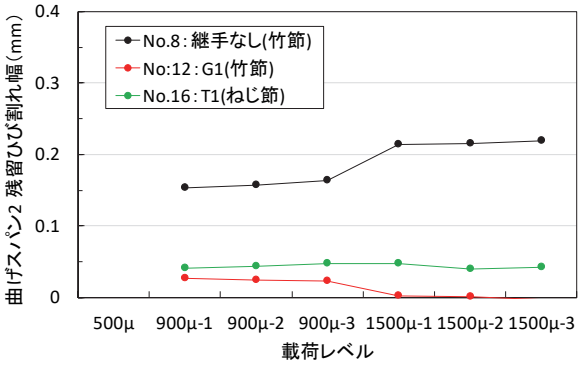
a) スパン中央１



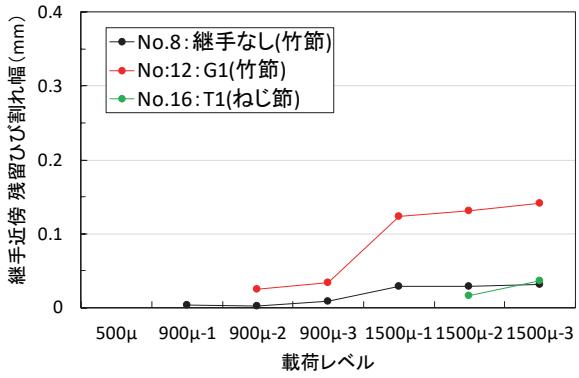
b) スパン中央２



c) 曲げスパン１

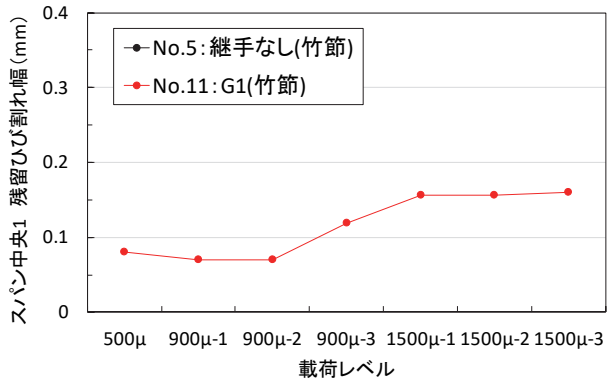


d) 曲げスパン２

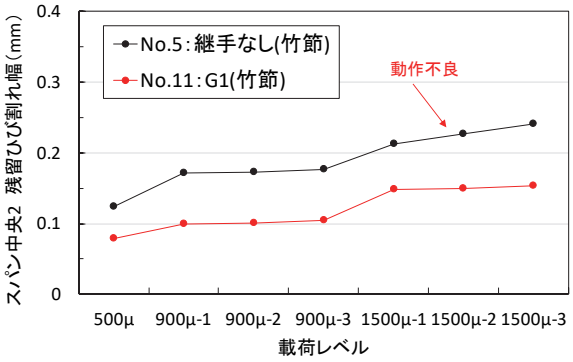


e) 継手近傍

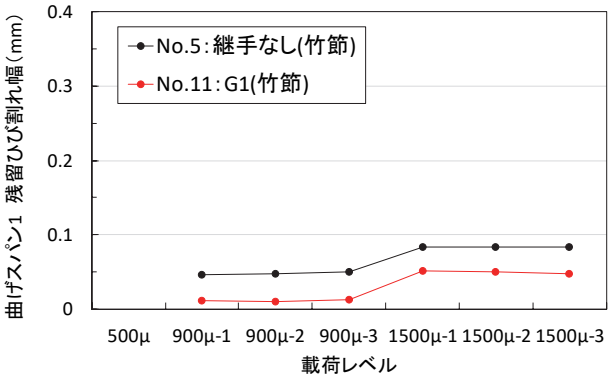
図 4-15 鉄筋中心間隔 240mm の中型試験体の残留ひび割れ幅



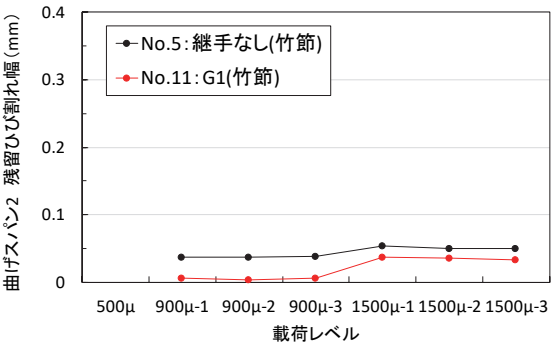
a) スパン中央１



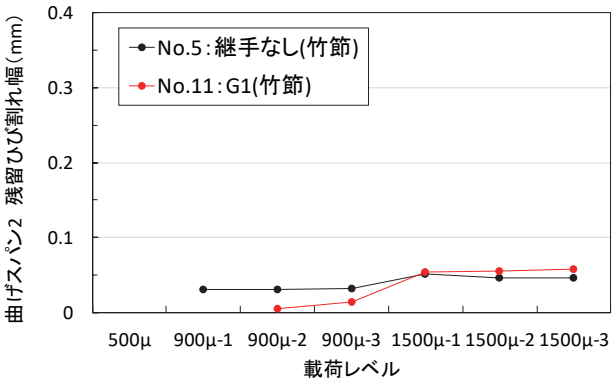
b) スパン中央２



c) 曲げスパン１



d) 曲げスパン２



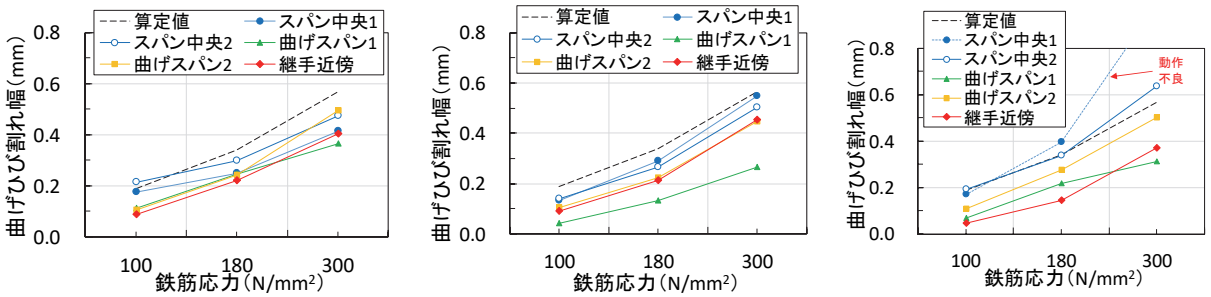
e) 継手近傍

図 4-16 鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小の中型試験体の残留ひび割れ幅

大型試験体

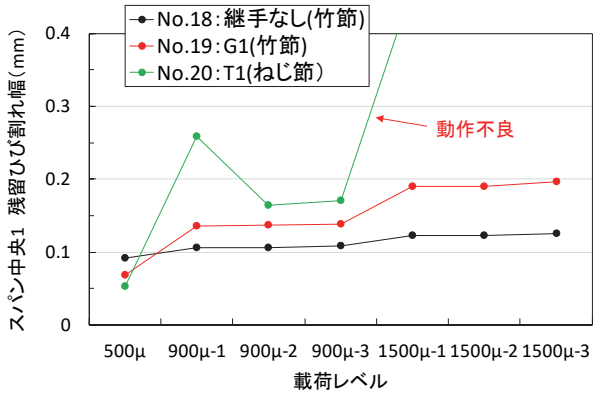
鉄筋応力が、100N/mm^2、180N/mm^2、300N/mm^2 時における曲げひび割れ幅の比較を**図 4-17** に示す。図中には式(4)を用いて算定した曲げひび割れ幅も合わせて示す。なお、No.20：T1 試験体では、スパン中央 2 に設置したパイ型変位が動作不良となり、目視で観察された曲げひび割れ幅よりも大きい値を示した。動作不良の結果を除き、いずれの試験体においても、算定値程度以下の曲げひび割れ幅であった。

残留ひび割れ幅を**図 4-18** に示す。機械式継手を用いた試験体の残留ひび割れ幅は、パイ型変位計の動作不良の結果を除き、1500μ レベルにおいて 0.2mm 未満であった。

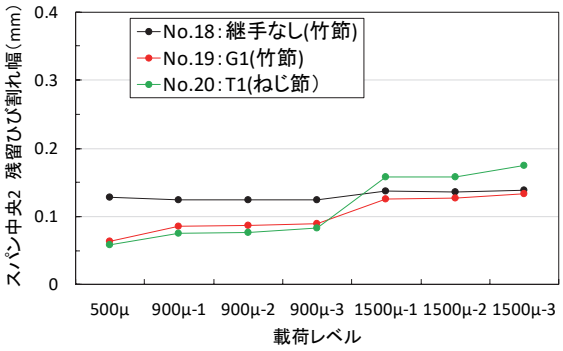


No.18：継手なし（竹節）　No.19：G1（竹節）　No.20：T1（ねじ節）

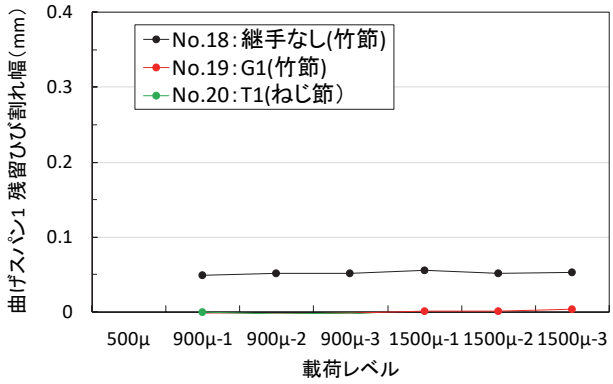
図 4-17　大型試験体の各鉄筋応力時における曲げひび割れ幅（パイ型変位計の測定値と式(4)による算定値）



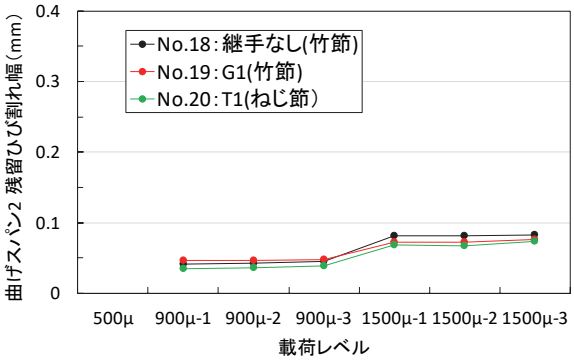
a)　スパン中央１



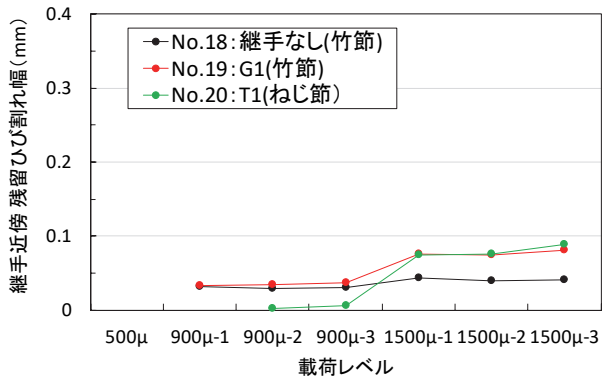
b)　スパン中央２



c)　曲げスパン１



d)　曲げスパン２



e)　継手近傍

図 4-18　大型試験体の残留ひび割れ幅

5　まとめ

本報告書では、機械式継手を同一断面に集中して配置したプレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験を行い、同一断面への機械式継手の配置が、静的耐力、変形挙動、ひび割れ性状に及ぼす影響を検討した結果、ならびに、曲げ載荷実験に用いた機械式継手単体の特性評価試験の結果を示した。以下にまとめを示す。

機械式継手単体の特性評価試験

一方向引張試験、弾性域正負繰返し試験、塑性域正負繰返し試験および高応力繰返し試験を実施し、曲げ載荷実験の試験体に用いた機械式継手は、概ね等級どおりの仕様であることを確認した。また、剛性、伸び能力、すべり量については、A 級の継手であっても SA 級の継手と同等以上の特性を有している場合があることを確認できた。

機械式継手を同一断面に集中して配置したプレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験方法

・曲げ載荷実験に用いた試験体

機械式継手の種類、鉄筋中心間隔、かぶり、試験体の寸法を変更し、合計 20 体の試験体を製作した。試験体の寸法は、小型、中型、大型の 3 種類とし、試験体の寸法に応じて SD345 の D16～D41 の鉄筋を用いた。

・載荷および測定方法

載荷は、4 点曲げの一方向繰返し載荷とした。繰返し載荷は、鉄筋の許容応力を参考に、鉄筋の応力レベルを変化させて行った。鉄筋の応力レベルは、接合部周辺の 4 断面で測定した鉄筋ひずみに基づいて制御した。また、スパン中央たわみ、接合部周辺の曲げひび割れ幅を測定した。

機械式継手を同一断面に集中して配置したプレキャスト部材接合部の曲げ載荷実験の結果

・静的耐力

機械式継手を用いた試験体の最大曲げモーメントは、機械式継手の種類や鉄筋中心間隔によらず、道路橋示方書Ⅲ編に示される破壊抵抗モーメントの特性値と同等以上であった。本実験で用いた機械式継手の場合、同一断面に機械式継手を用いた場合の影響は顕著ではなく、曲げに対して、設計で想定される静的耐力を有することを確認できた。また、同一断面への機械式継手の配置が圧縮側コンクリートの破壊性状に及ぼす影響については、機械式継手を配置した区間を避けるように圧壊が生じる傾向はあったものの、圧壊が早期に生じるなどの悪影響は認められなかった。

・変形挙動

機械式鉄筋継手を用いた試験体の剛性は、荷重とスパン中央たわみの傾きから求められる算定値を指標として比較した結果、試験体の条件によらず、算定値と同等以上であることを確認した。静的耐力の場合と同様に、本実験で用いた機械式継手の場合、同一断面に機械式継手を用いた場合の影響は顕著ではなく、曲げに対して、設計で想定される剛性を有することを確認できた。

残留たわみについては、同じ荷重レベルで繰返し載荷してもほとんど増加せず、継手なし試験体と比較して顕著な差はないことを確認した。

・ひび割れ性状

機械式継手を用いた試験体の曲げひび割れ幅は、コンクリート標準示方書で示される曲げひび割れ幅算定式による算定値を指標として比較した結果、鉄筋中心間隔を狭くした場合に、算定値を上回る場合があることを確認した。機械式継手の寸法は鉄筋よりも大きいため、鉄筋中心間隔を狭くして配筋を密にすると断面に占める鋼材の割合が局所的に大きくなる。このため、曲げ剛性の局所的な変化の影響が顕著になり、機械式継手部の周囲の曲げひび割れ幅に影響を及ぼしたものと考えられた。

残留ひび割れ幅については、載荷中の曲げひび割れ幅ほど、鉄筋中心間隔を狭くした影響は現れなかった。本実験で用いた機械式継手のすべり量が小さいため、除荷後の変形に及ぼす影響が小さかったためと考えられた。

参考文献

1) 日本建設業連合会：再生と進化に向けて－建設業の長期ビジョン―、pp.38-42、2015、https://www.nikkenren.com/sougou/vision.html（閲覧日 2020 年 6 月 3 日）
2) コンクリート生産性向上検討協議会：第 4 回 i-Construction 委員会資料、第 2 回資料 1、http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000032.html（閲覧日 2020 年 5 月 7 日）
3) コンクリート生産性向上検討協議会：コンクリート工の生産性向上に関する現状、第 1 回資料 1、http://www.mlit.go.jp/tec/i-con-concrete-conference001.html（閲覧日 2020 年 5 月 7 日）
4) 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン、2017、https://www.mlit.go.jp/common/001191821.pdf（閲覧日 2020 年 6 月 4 日）
5) 機械式定着工法技術検討委員会：機械式鉄筋定着工法の配筋設計ガイドライン、2016、https://www.mlit.go.jp/common/001184141.pdf（閲覧日 2020 年 6 月 4 日）
6) コンクリート生産性向上検討協議会：現場打ちコンクリートに関するガイドラインのフォローアップ、第 6 回参考資料 3、http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000047.html（閲覧日 2020 年 5 月 7 日）
7) 大野拓也、Nguyen Dac Phuong、睦好宏史、牧剛史：機械式鉄筋継手の性能が RC 部材の力学的性状に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.2、pp.589-594、2013
8) 土木学会：鉄筋定着・継手指針 [2020 年版]、pp.23-38、2020
9) 道路プレストレストコンクリート工技術委員会ガイドライン検討小委員会：プレキャストコンクリート構造物に適用する機械式鉄筋継手工法ガイドライン、2019、https://www.mlit.go.jp/common/001268313.pdf（閲覧日 2020 年 6 月 4 日）
10) 安田瑛紀、中村拓郎、松本智夫、二羽淳一郎：モルタル充填継手を同一断面に配置した RC はりの曲げ性状に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.2、pp.595-600、2016
11) 土木学会：鉄筋定着・継手指針 [2007 年版]、pp.34-46、2007
12) 村田二郎、河合糺茲：引抜き試験による異形鉄筋の付着強度に関する研究、土木学会論文集、No.348、V-1、pp.113-122、1984
13) 日本道路協会：道路土工カルバート工指針、pp.48-95、2010
14) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編、pp.42-45、pp.149-157、2017
15) 土木学会：2017 年制定　コンクリート標準示方書 [設計編]、pp.231-241、2018

参考資料１　各施工段階での確認及び記録事項の例

この参考資料は、プレキャスト部材同士の接合、又は、プレキャスト部材と現場打ちコンクリート部材の接合の各施工段階での確認及び記録事項の例を示したものである。

(1) プレキャスト部材同士の接合：モルタル充填継手の例

プレキャスト部材の据付け前の確認及び記録事項

- プレキャスト部材の検査記録及び目視により、鉄筋継手部の鉄筋の表面及び端部の状態に不具合がないこと（例えば、鉄筋端部に切断バリ、切断ノロなどがないこと、モルタルなどが付着していないこと、鉄筋の端曲がりがないこと等）を鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- プレキャスト部材の検査記録及び目視により、スリーブ内に異物がないことを鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- プレキャスト部材の検査記録及び目視により、グラウトの注入孔及び排出孔に目詰まりがないことを鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- プレキャスト部材の検査記録（型枠内に設置したスリーブの固定治具の位置等）及び目視により、設計図書に記載された位置にスリーブが設置されていることを鉄筋継手全数について確認し、記録する。なお、コンクリートを頂版面から打込んで製造する場合は、安全のために、既製のプレキャスト部材等に頂版を仮置きして下から支え、側壁底面が浮いた状態でスリーブ位置を確認するとよい。コンクリートを側壁面から打込んで製造する場合は、脱型時にスリーブの位置を確認するとよい。
- プレキャスト部材の検査記録及び同部材から突出した鉄筋の長さや鉄筋継手端部から挿入された鉄筋までの深さを測定することにより、鉄筋の挿入長さを継手全数について確認し、記録する。なお、接合目地を有する場合は、プレキャスト部材から突出した鉄筋の挿入長さは、その目地厚さを含めた長さとなる。

グラウト充填時の確認及び記録事項

- グラウトが各機械式鉄筋継手工法で規定されたものであることを確認し、ロット番号を記録する。
- グラウト練混ぜに際し、単位水量、練混ぜ時間、練上がり温度及びフロー値等が規定の範囲内であることを確認し、記録する。
- グラウトの充填が各機械式鉄筋継手工法の施工要領に従い所定の施工機器を用いて確実に行われていることを鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- プレキャスト部材の接合目地部に取り付けられた型枠からのグラウトの漏出がないことを確認し、記録する。

グラウト充填後の確認及び記録事項

- グラウトが注入孔及び排出孔から確実に流出していることを鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- グラウト充填後、硬化に悪影響を及ぼさないように養生されていることを確認し、記録する。
- グラウトの圧縮強度試験を行い、所定の数値以上であることを確認し、記録する。

(2) プレキャスト部材と現場打ちコンクリートの接合:ねじ節鉄筋継手の例

プレキャスト部材の据付け前の確認及び記録事項

- プレキャスト部材の検査記録及び目視により、鉄筋継手部の鉄筋の表面及び端部の状態に不具合がないことを鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- プレキャスト部材の検査記録及び目視により、カプラー及び養生ナットの清浄さに不具合がないことを鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- プレキャスト部材の検査記録及び目視により、鉄筋の必要挿入長さを示す挿入マークの位置及び長さを鉄筋継手全数について確認し、記録する

グラウト充填時の確認及び記録事項

- グラウトの充填前に、カプラー端又は養生ナットがある場合はその端部が挿入マークの所定の範囲にあることを目視により、鉄筋継手全数について確認し、記録する
- グラウトが各機械式鉄筋継手工法で規定されたものであることを確認し、ロット番号を記録する
- 樹脂系グラウトの充填に際し、外気温、可使時間等が規定の範囲内であることを確認し、記録する。
- 無機系グラウトの練混ぜに際し、単位水量、練混ぜ時間、練上がり温度及びフロー値等が規定の範囲内であることを確認し、記録する。
- グラウトの充填が各機械式鉄筋継手工法の施工要領に従い所定の施工機器を用いて確実に行われていることを鉄筋継手全数について確認し、記録する。

グラウト充填後の確認及び記録事項

- カプラー端又は養生ナットがある場合はその端部が挿入マークの所定の範囲にあることを目視により鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- 養生ナットがある場合は、ナットの締付けを確認するための合わせマークがずれていることを目視により鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- グラウトが、カプラーの両端又は養生ナットがある場合はその両端から確実に漏出していることを目視により鉄筋継手全数について確認し、記録する。
- グラウト充填後、硬化に悪影響を及ぼさないように養生されていることを確認し、記録する。なお、無機系グラウトの場合、必要に応じて圧縮強度試験を行うとよい。

参考資料２　各施工段階での検査事項の例

この参考資料は、プレキャスト部材同士の接合、又は、プレキャスト部材と現場打ちコンクリート部材の接合の各施工段階における検査事項の例を示したものである。

(1) プレキャスト部材同士の接合：モルタル充填継手の例

プレキャスト部材の据付け前の検査事項

項目	頻度	判定基準
鉄筋継手部の鉄筋の表面及び端部の状態	鉄筋継手全数	不具合がないこと（鉄筋端部に切断バリ、切断ノロなどがないこと、モルタルなどが付着していないこと、鉄筋の端曲がりがないこと等）
スリーブ内の状態	鉄筋継手全数	異物がなく清浄であること
注入孔、排出孔の状態	鉄筋継手全数	詰まりがなく清浄であること
スリーブの位置	鉄筋継手全数	設計図書に記載された位置であること
鉄筋の挿入長さ	鉄筋継手全数	規定の長さの範囲であること

グラウト充填時の検査事項

項目	頻度	判定基準
使用材料の確認	全数	規定されたものであること
硬化前のグラウトの性状 （単位水量、練混ぜ時間、練上がり温度、フロー値等）	施工ロット毎	規定の範囲であること
使用機器	全数	規定されたものであること

グラウト充填後の検査事項

項目	頻度	判定基準
グラウトの排出状況	鉄筋継手全数	排出孔からグラウトが流出していること
グラウトの養生	鉄筋継手全数	環境条件に応じて適切に養生されていること
グラウトの圧縮強度	施工ロット毎	規定の数値以上であること

(2) プレキャスト部材と現場打ちコンクリートの接合：ねじ節鉄筋継手の例

プレキャスト部材の据付け前の検査事項

項目	頻度	判定基準
鉄筋継手部の鉄筋の表面及び端部の状態	鉄筋継手全数	不具合がないこと（鉄筋端部に切断バリ、切断ノロなどがないこと、モルタルなどが付着していないこと、鉄筋の端曲がりがないこと等）
カプラー及び養生ナット内の状態	鉄筋継手全数	異物がなく清浄であること
鉄筋の挿入長さ	鉄筋継手全数	規定の長さの範囲であること

グラウト充填時の検査事項

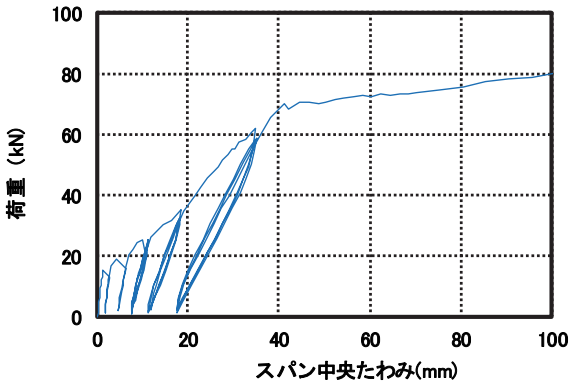
項目	頻度	判定基準
カプラー端の位置	継手全数	規定の位置であること
使用材料の確認	全数	規定されたものであること
硬化前の樹脂系グラウトの性状（外気温、可使時間等）	施工ロット毎	規定の範囲であること
硬化前の無機系グラウトの性状（単位水量、練混ぜ時間、練上がり温度、フロー値等）	施工ロット毎	規定の範囲であること
使用機器	全数	規定されたものであること

グラウト充填完了後の検査事項

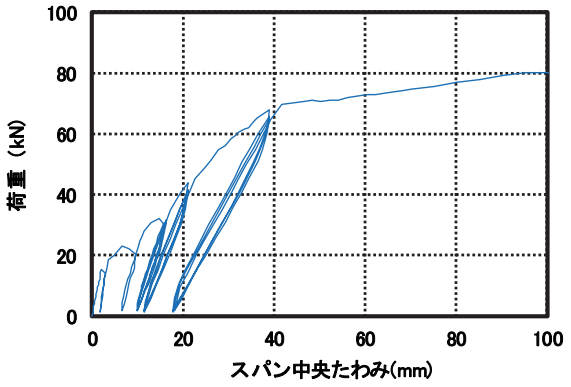
項目	頻度	判定基準
カプラー端の位置	鉄筋継手全数	規定の位置であること
養生ナットの状態	鉄筋継手全数	養生ナットがある場合は、ナットの締付けを確認するための合わせマークがずれていること
グラウトの状況	鉄筋継手全数	カプラー両端からグラウトが漏出していること
グラウトの養生	鉄筋継手全数	環境条件に応じて適切に養生されていること

参考資料３　荷重－スパン中央たわみ関係

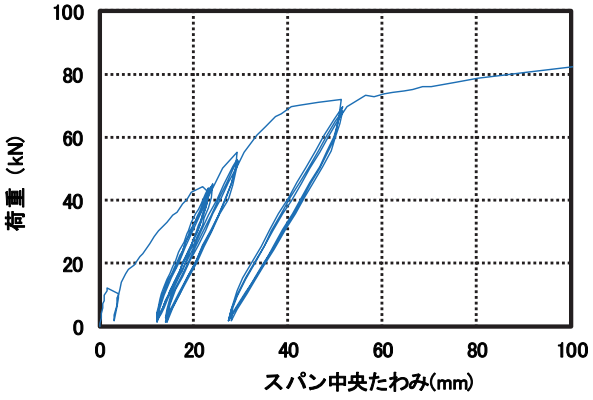
小型、中型および大型試験体の荷重－スパン中央たわみ関係を**参考　図 3-1～6** に示す。なお、本文中の**図 4-5** と異なり、繰返し載荷および除荷時の挙動も示している。



a)　試験体 No.1：小型試験体、継手なし（竹節）

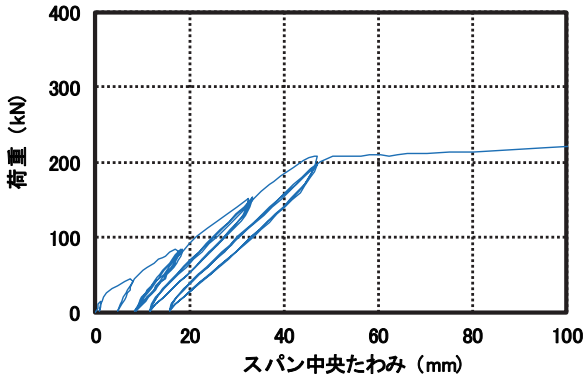


b)　試験体 No.2：小型試験体、G1（竹節）

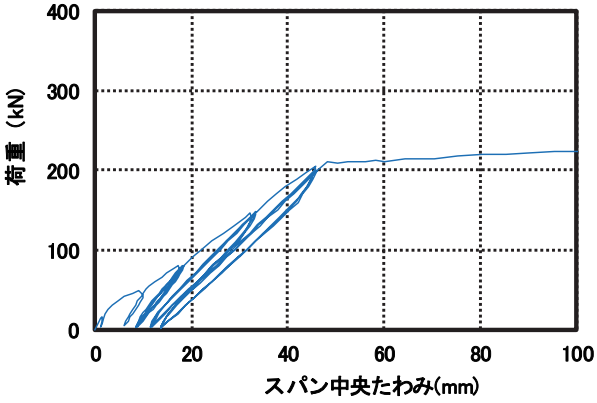


c)　試験体 No.3：小型試験体、T1（ねじ節）

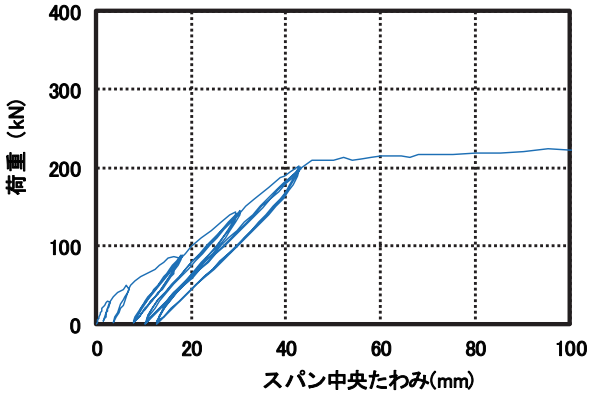
参考　図 3-1　小型試験体



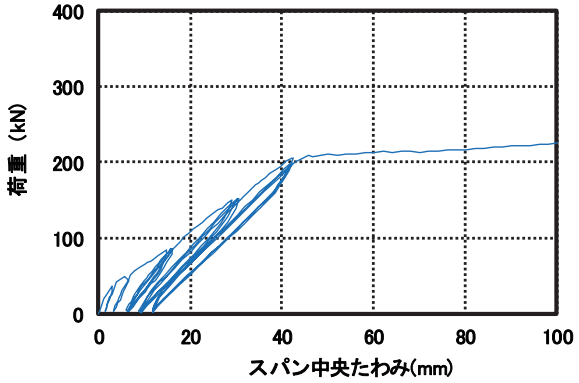
a)　試験体 No.5：継手なし（竹節）



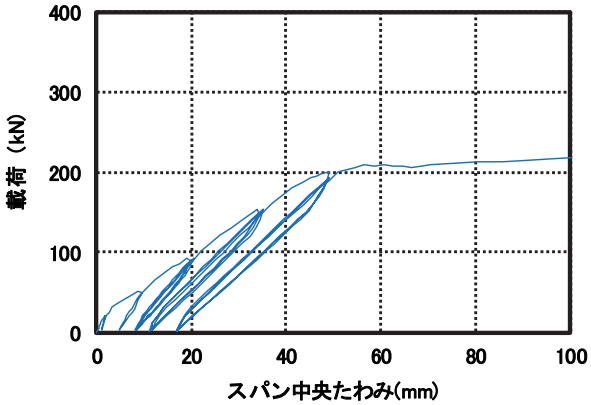
b)　試験体 No.7：継手なし（ねじ節）



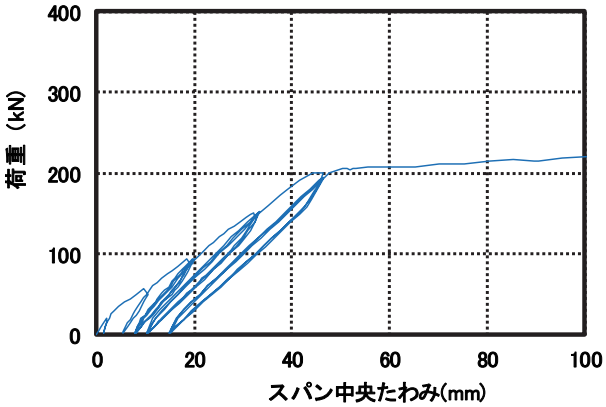
c)　試験体 No.10：G1（竹節）



d)　試験体 No.13：G2（ねじ節）

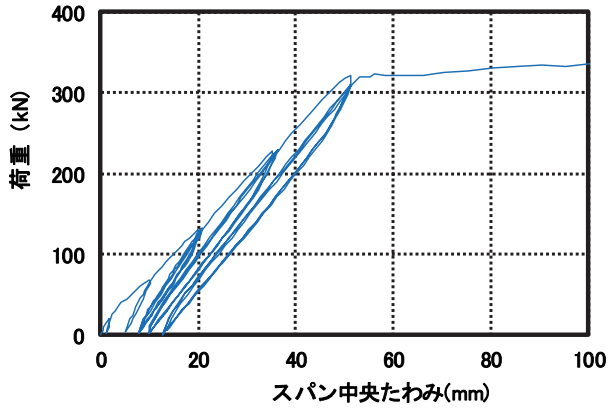


e)　試験体 No.15：T1（ねじ節）

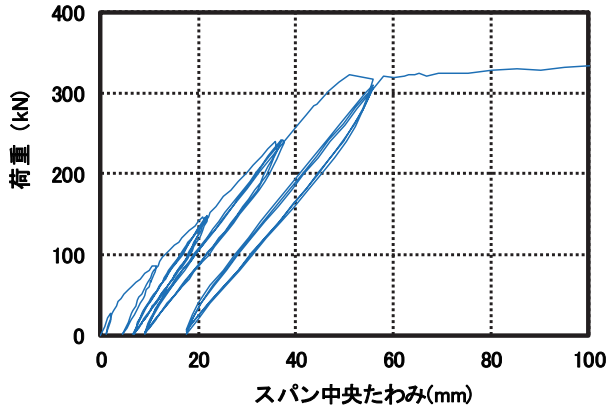


f)　試験体 No.17：T2（ねじ節）

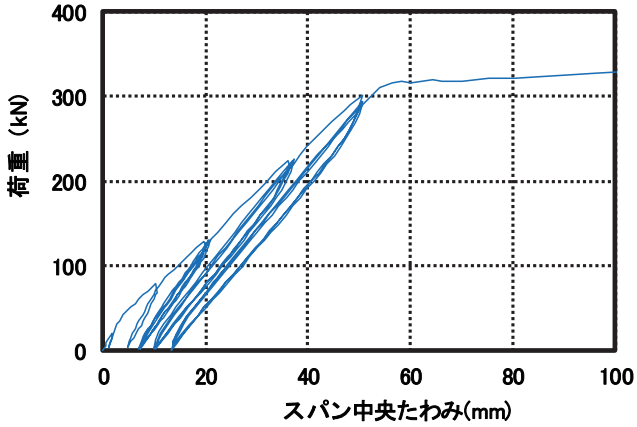
参考　図 3-2　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm



a)　試験体 No.4：継手なし（竹節）

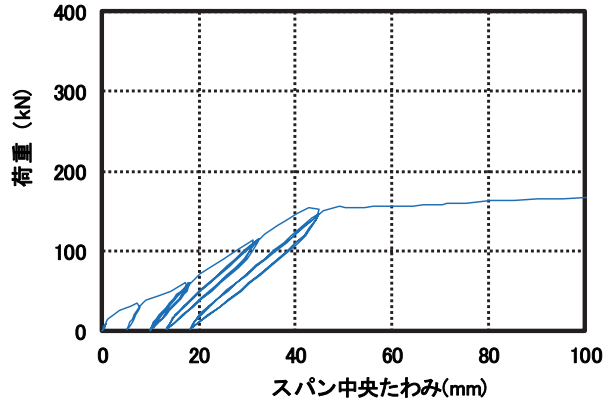


b)　試験体 No.9：G1（竹節）

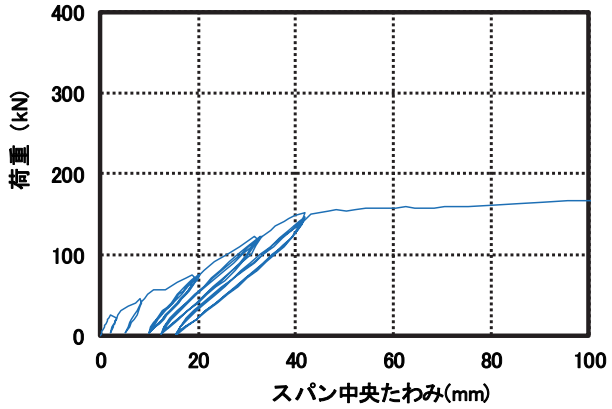


c)　試験体 No.14：　T1（ねじ節）

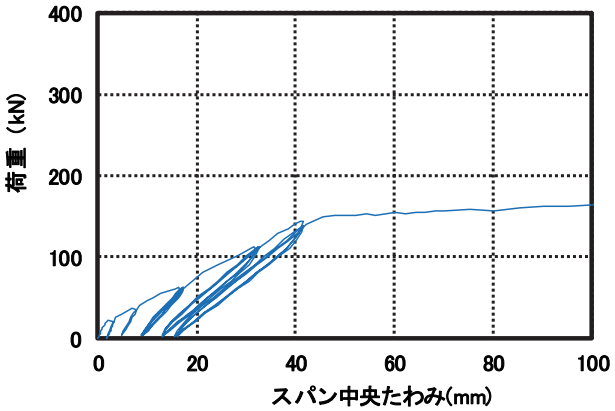
参考　図 3-3　中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm



a)　試験体 No.8：中型試験体、継手なし（竹節）

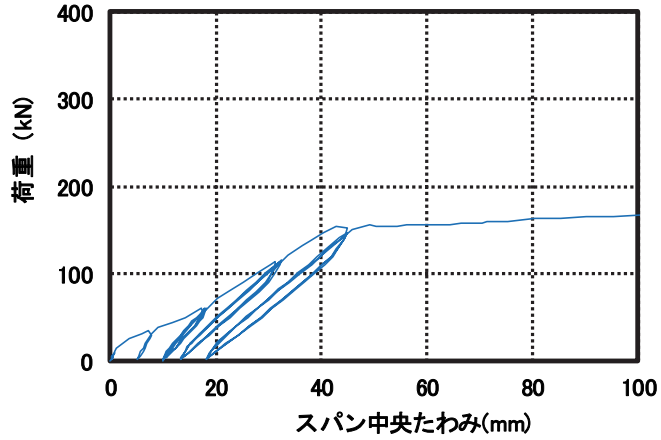


b)　試験体 No.12：中型試験体、G1（竹節）

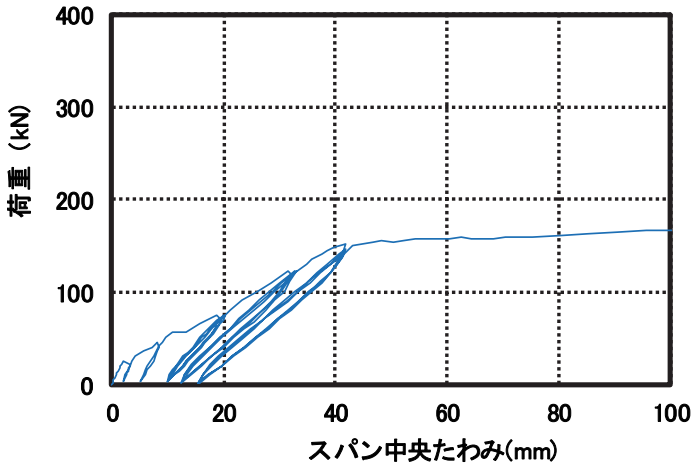


c)　試験体 No.16：中型試験体、T1（ねじ節）

参考　図 3-4　中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm

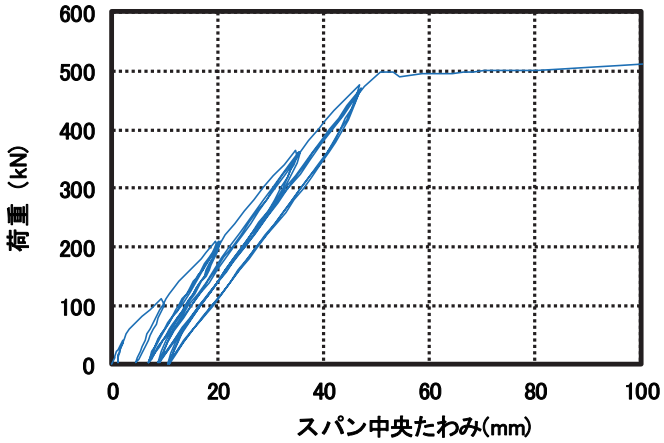


a)　試験体 No.6：継手なし（竹節）

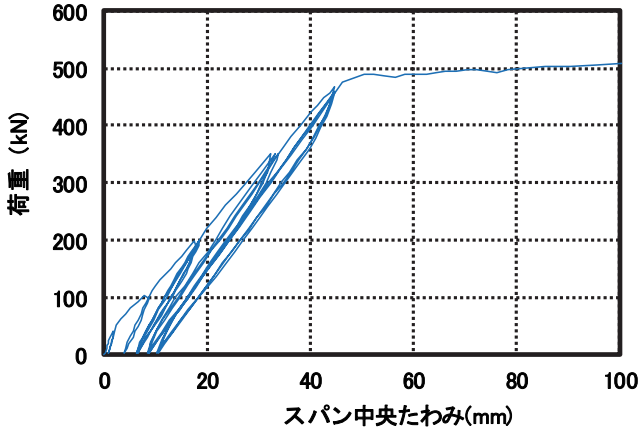


b)　試験体 No.11：　G1（竹節）

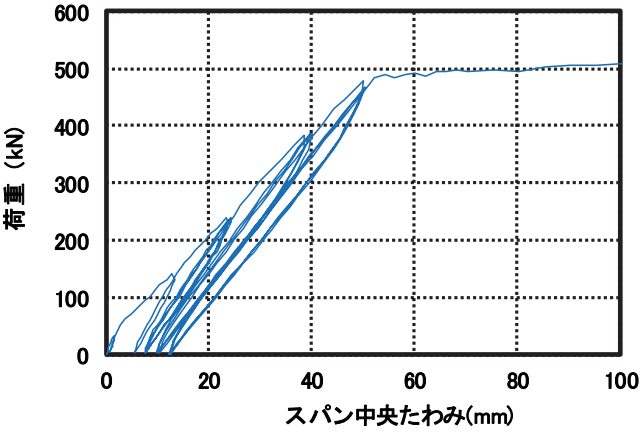
参考　図 3-5　中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小



a)　試験体 No.18：継手なし（竹節）



b)　試験体 No.19：G1（竹節）

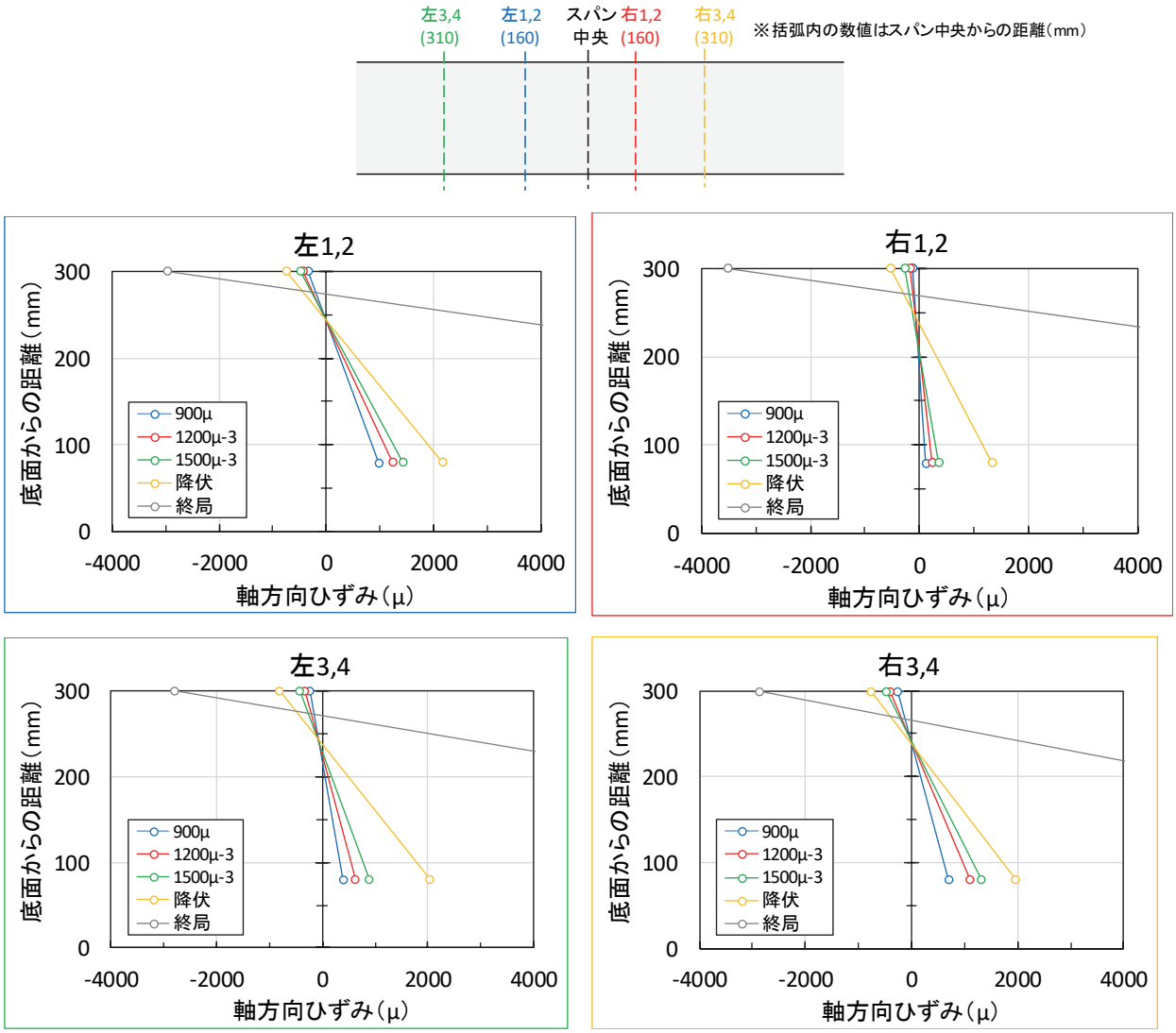


c)　試験体 No.20：T1（ねじ節）

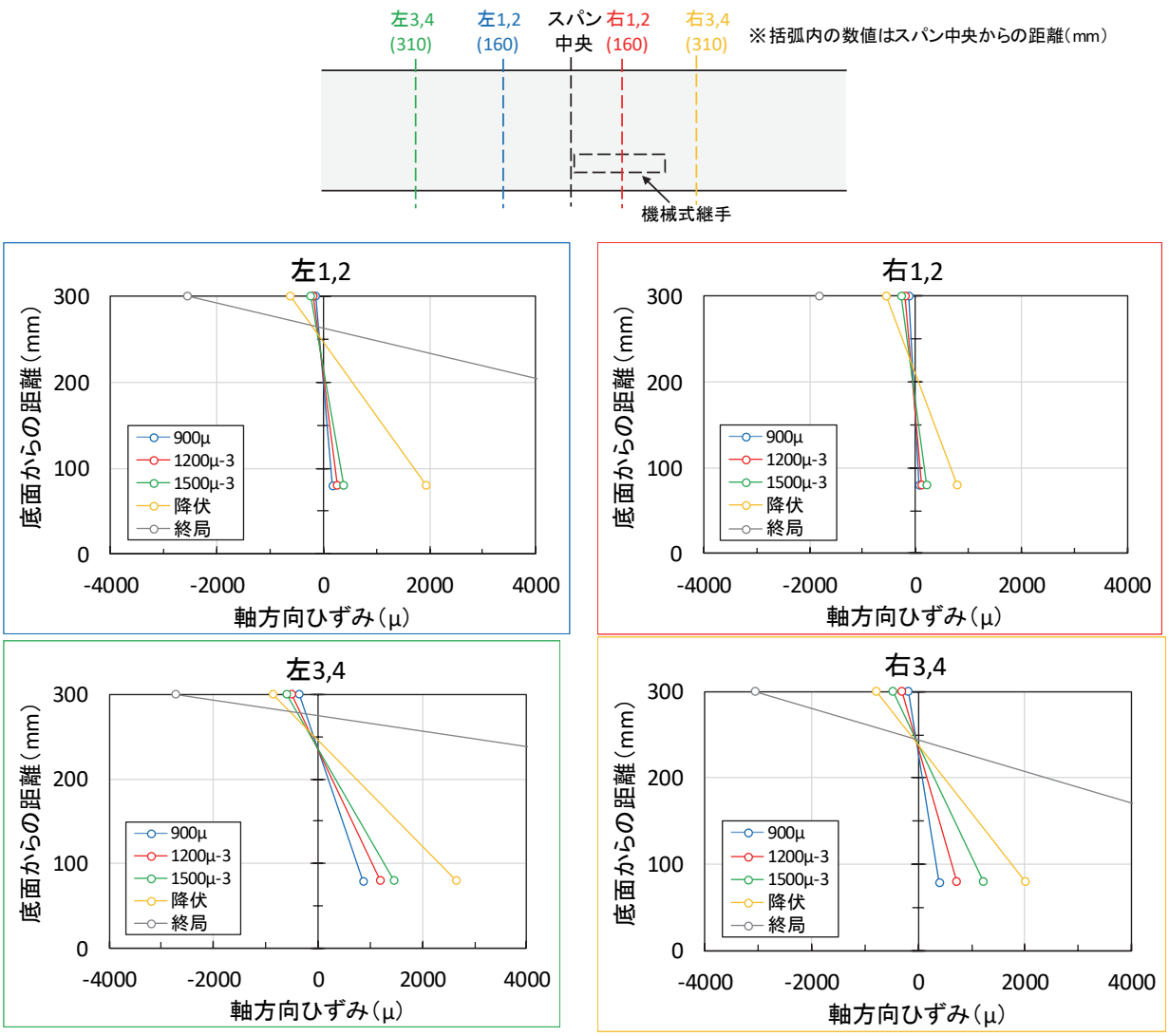
参考　図 3-6　大型試験体

参考資料４　軸方向ひずみ分布

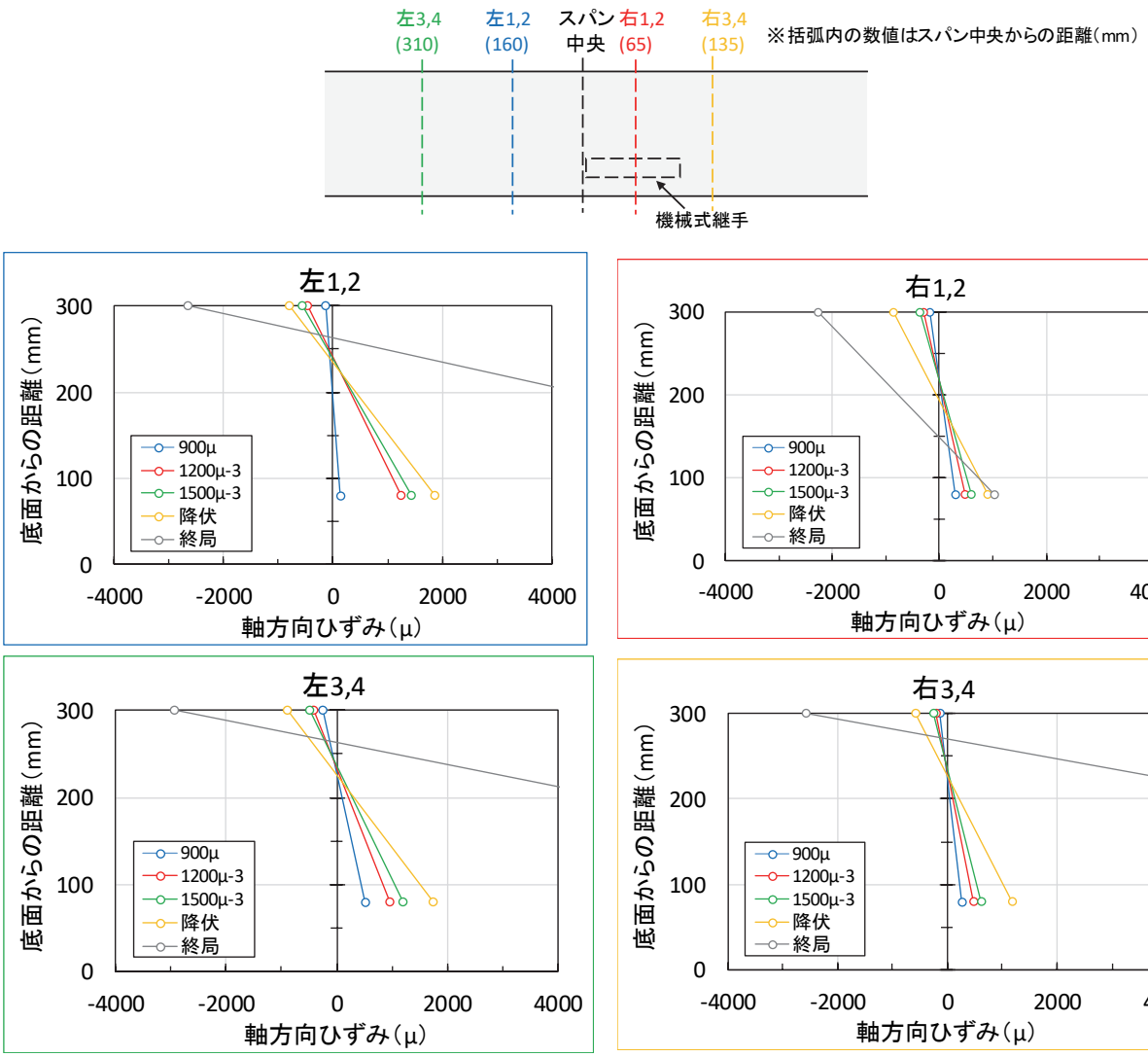
試験体 No.1～20 の各荷重レベルにおける軸方向ひずみ分布を**参考　図 4-1～20** に示す。



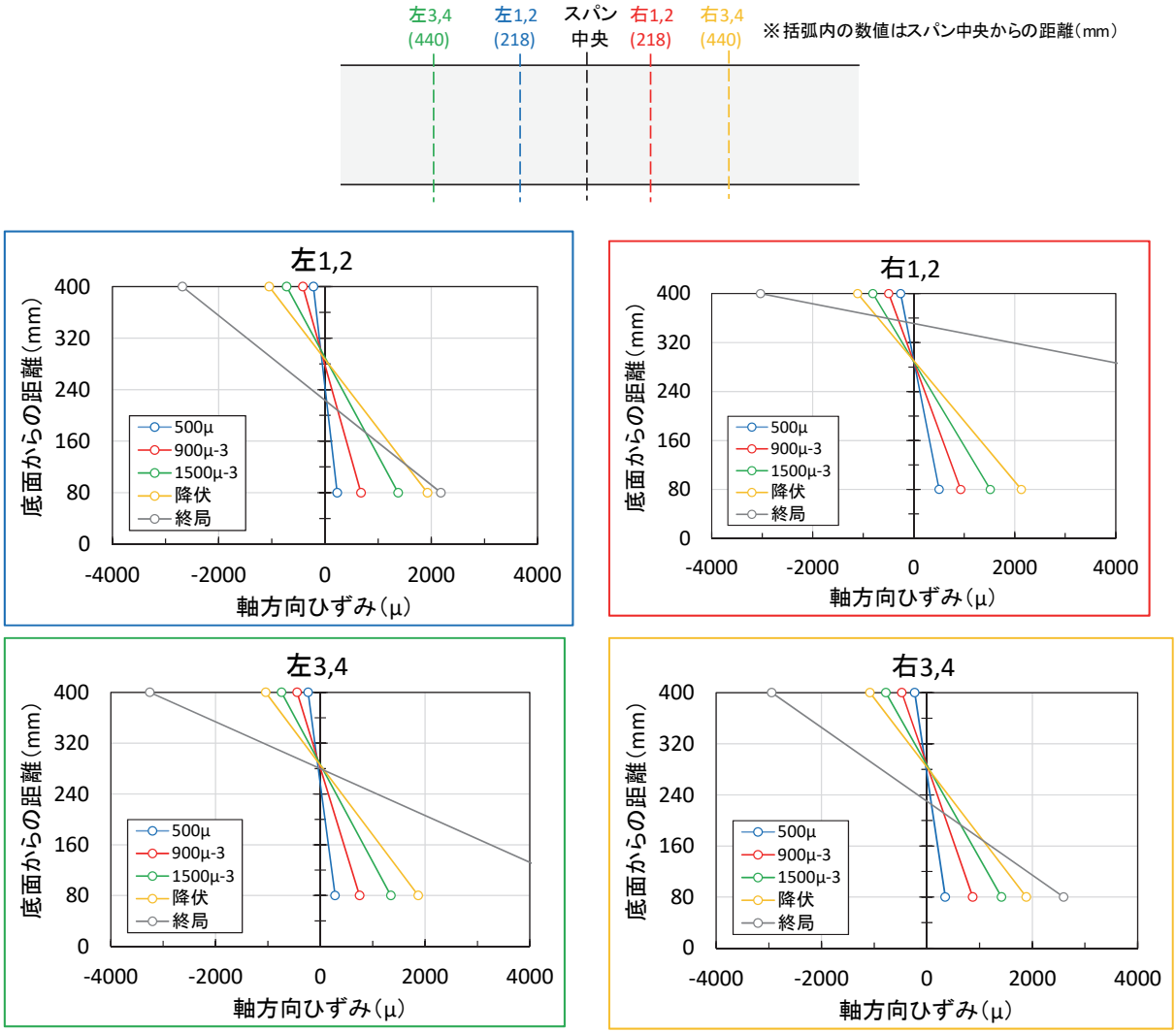
参考　図 4-1　試験体 No.1：小型試験体、継手なし（竹節）



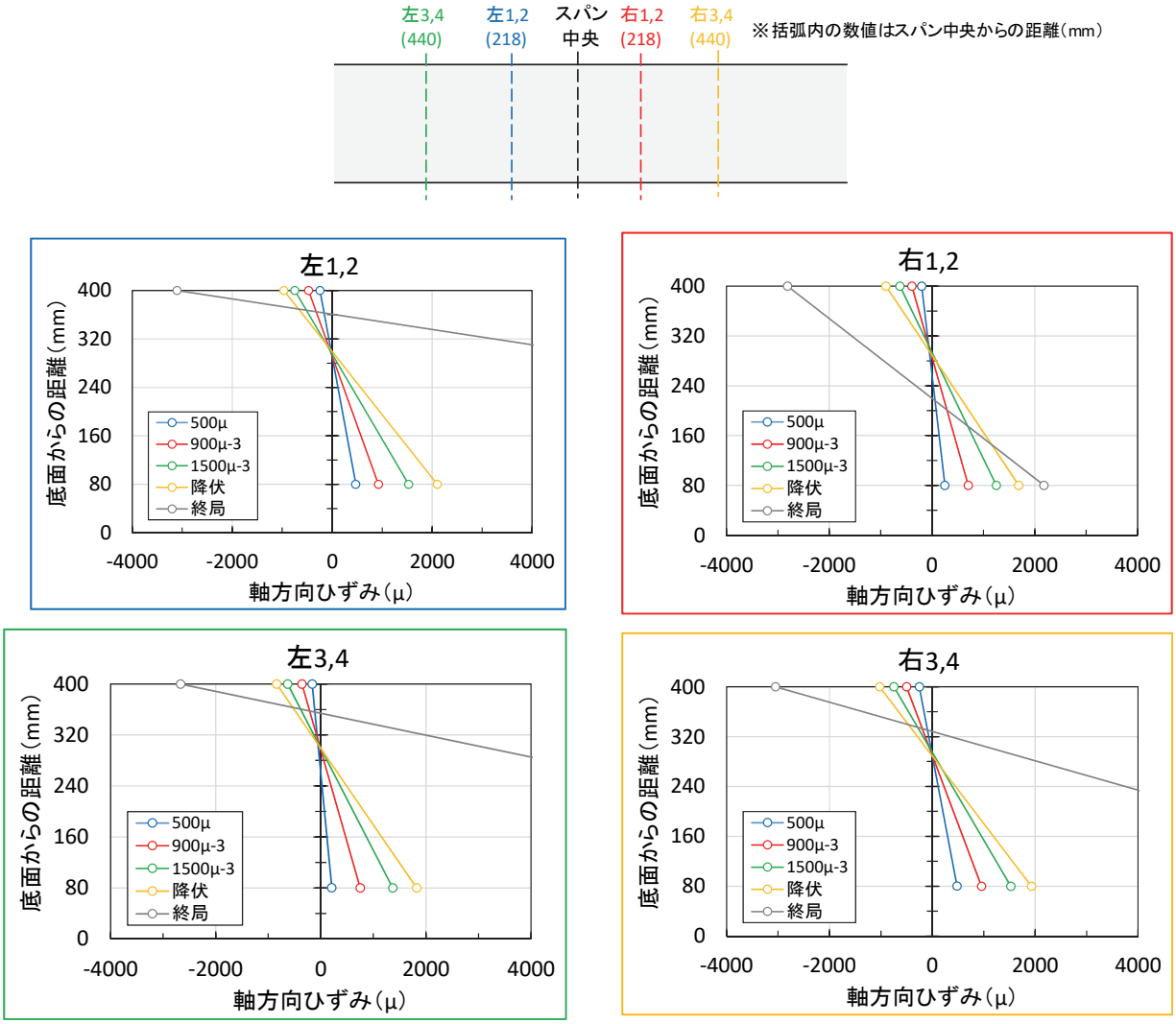
参考　図 4-2　試験体 No.2：小型試験体、G1（竹節）



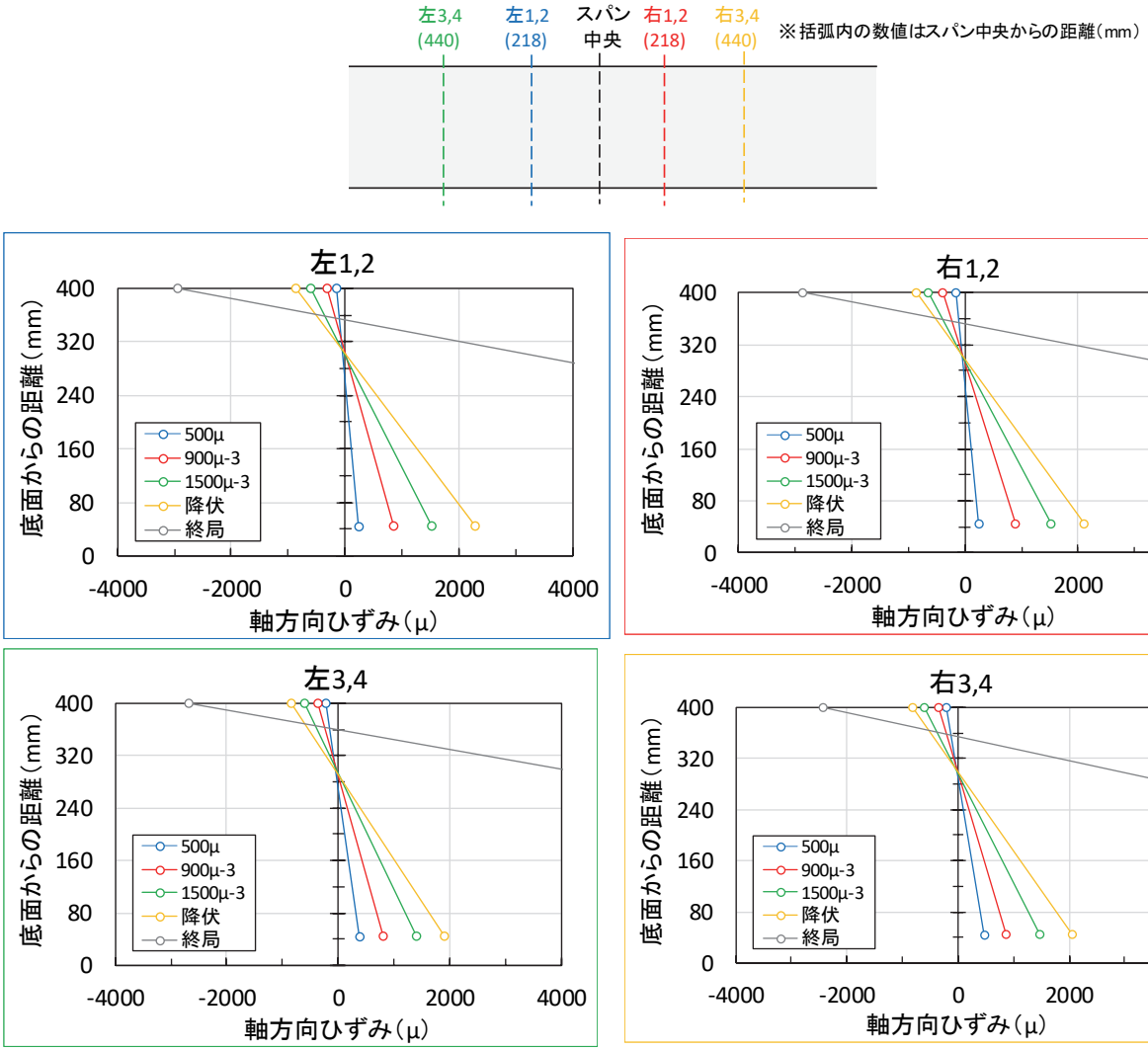
参考　図 4-3　試験体 No.3：小型試験体、T1（ねじ節）



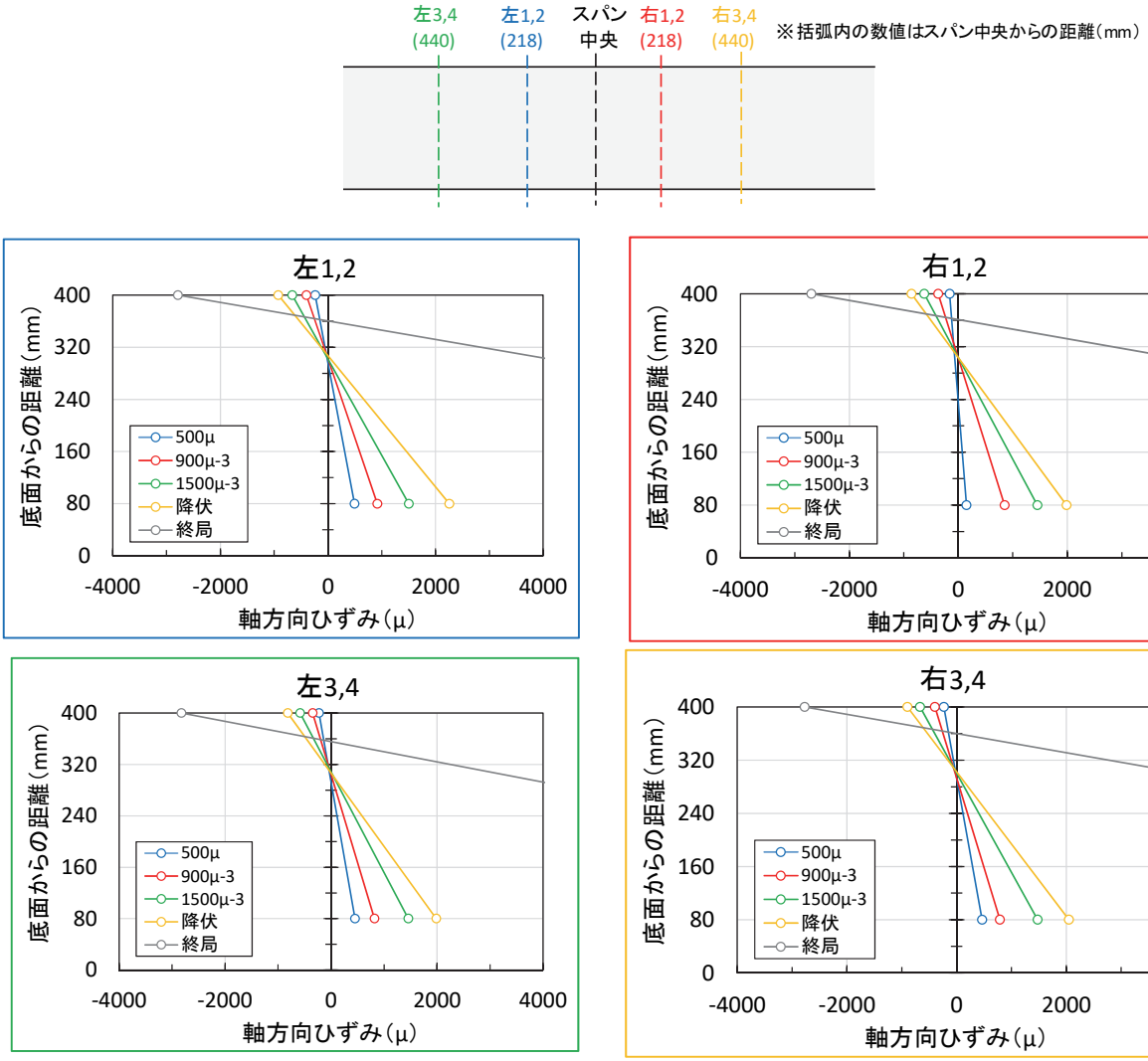
参考　図 4-4　試験体 No.4：中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm、継手なし（竹節）



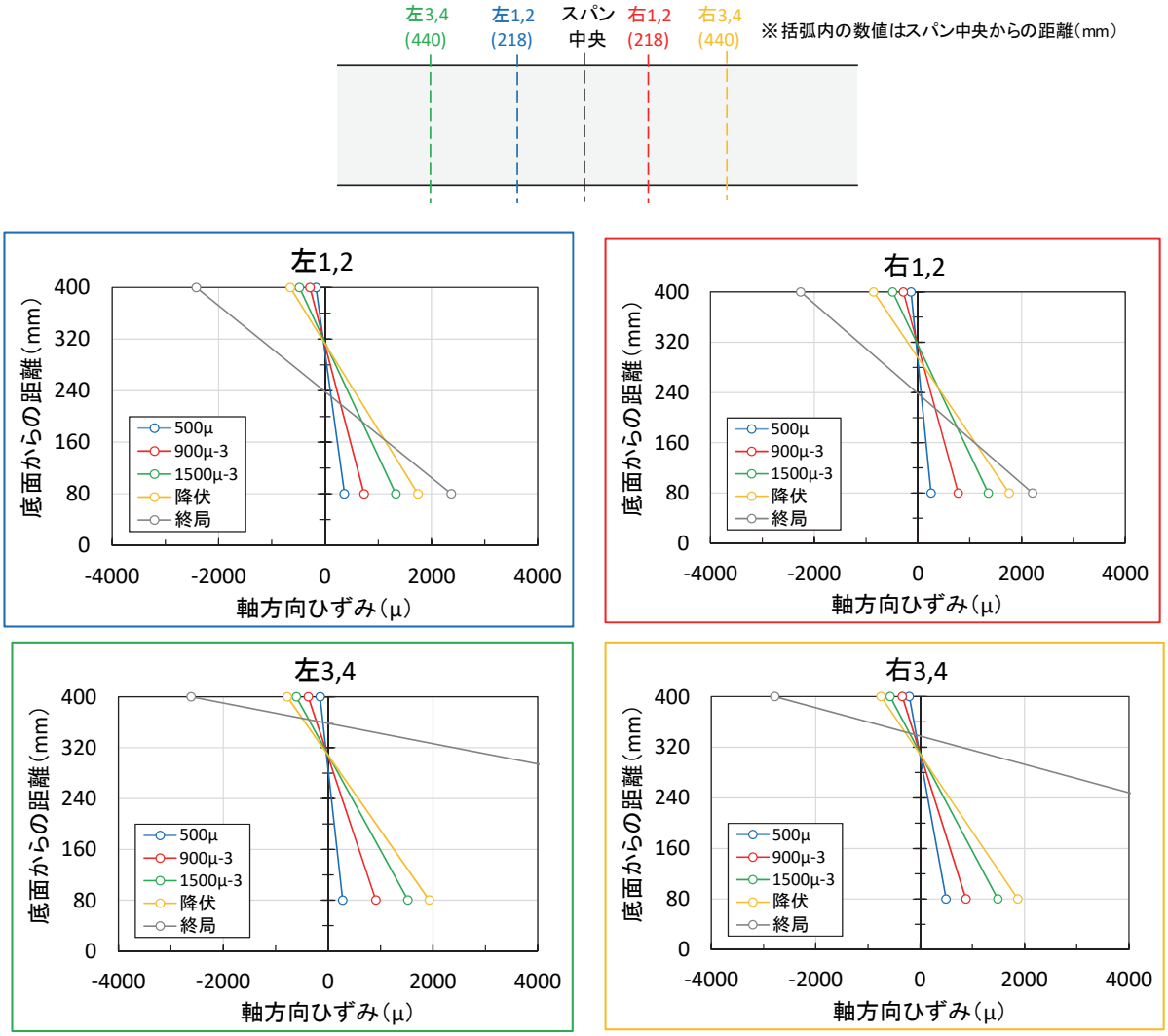
参考　図 4-5　試験体 No.5：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、継手なし（竹節）



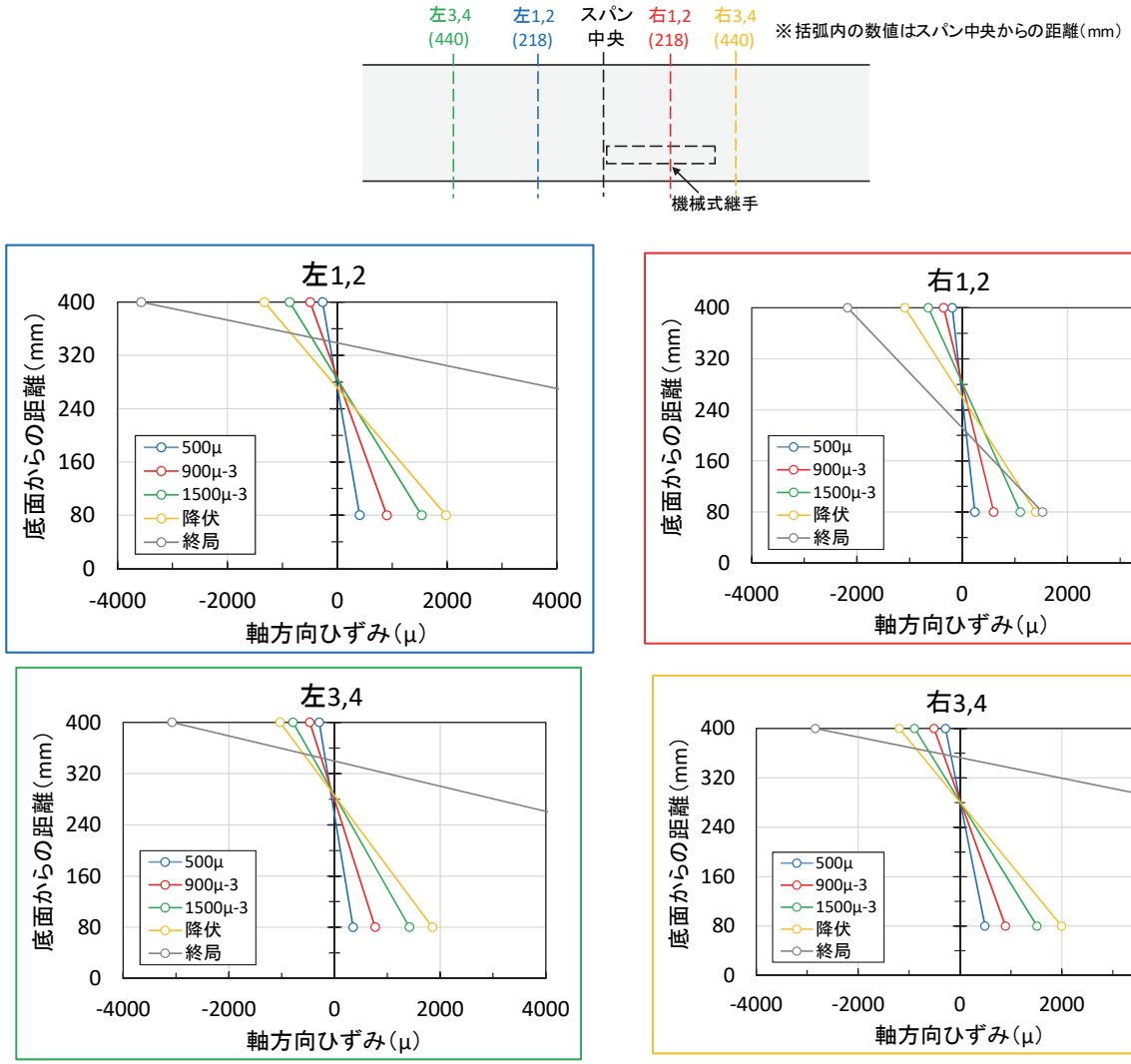
参考　図 4-6　試験体 No.6：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小、継手なし（竹節）



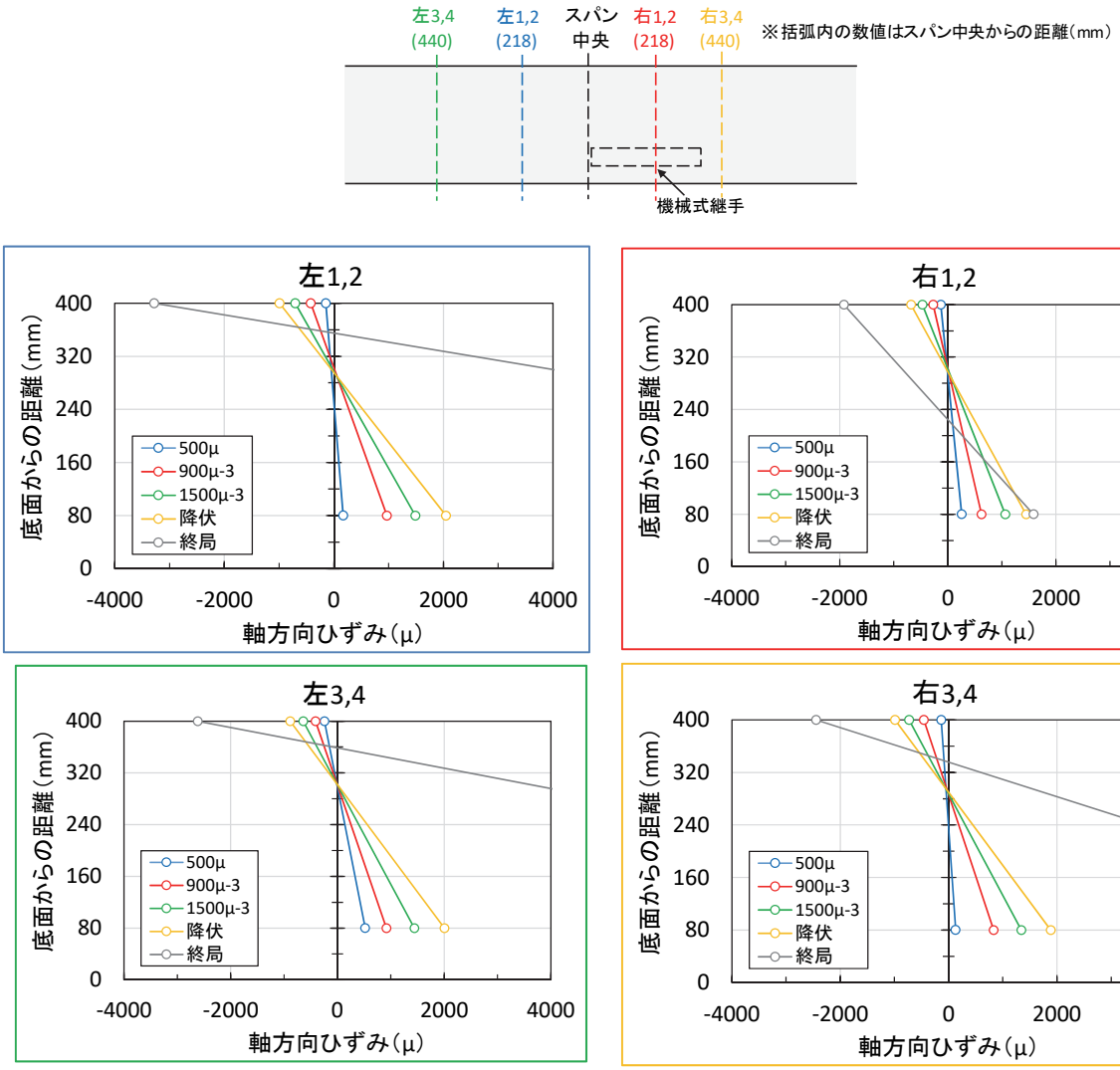
参考　図 4-7　試験体 No.7：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、継手なし（ねじ節）



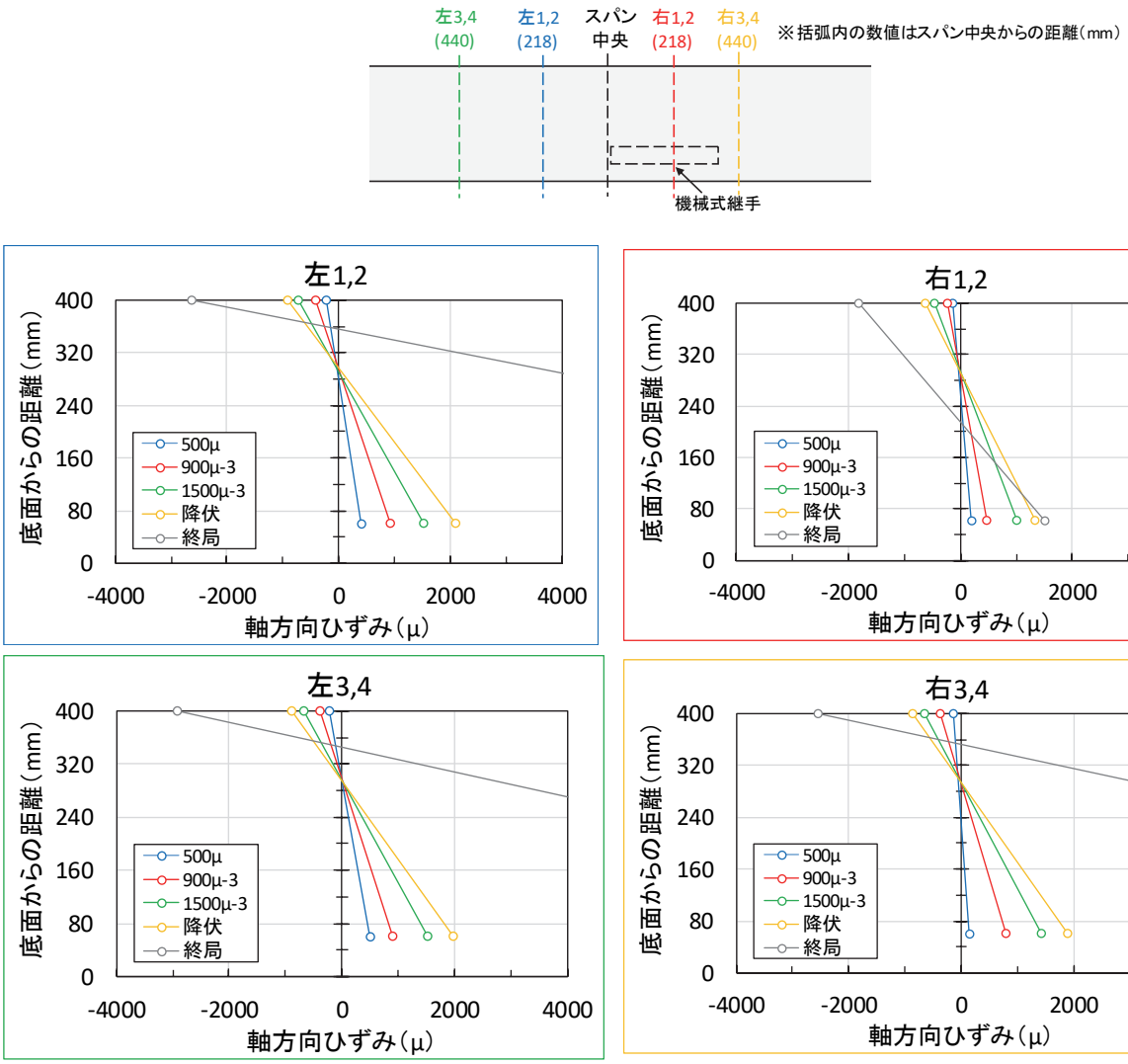
参考　図 4-8　試験体 No.8：中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm、継手なし（竹節）



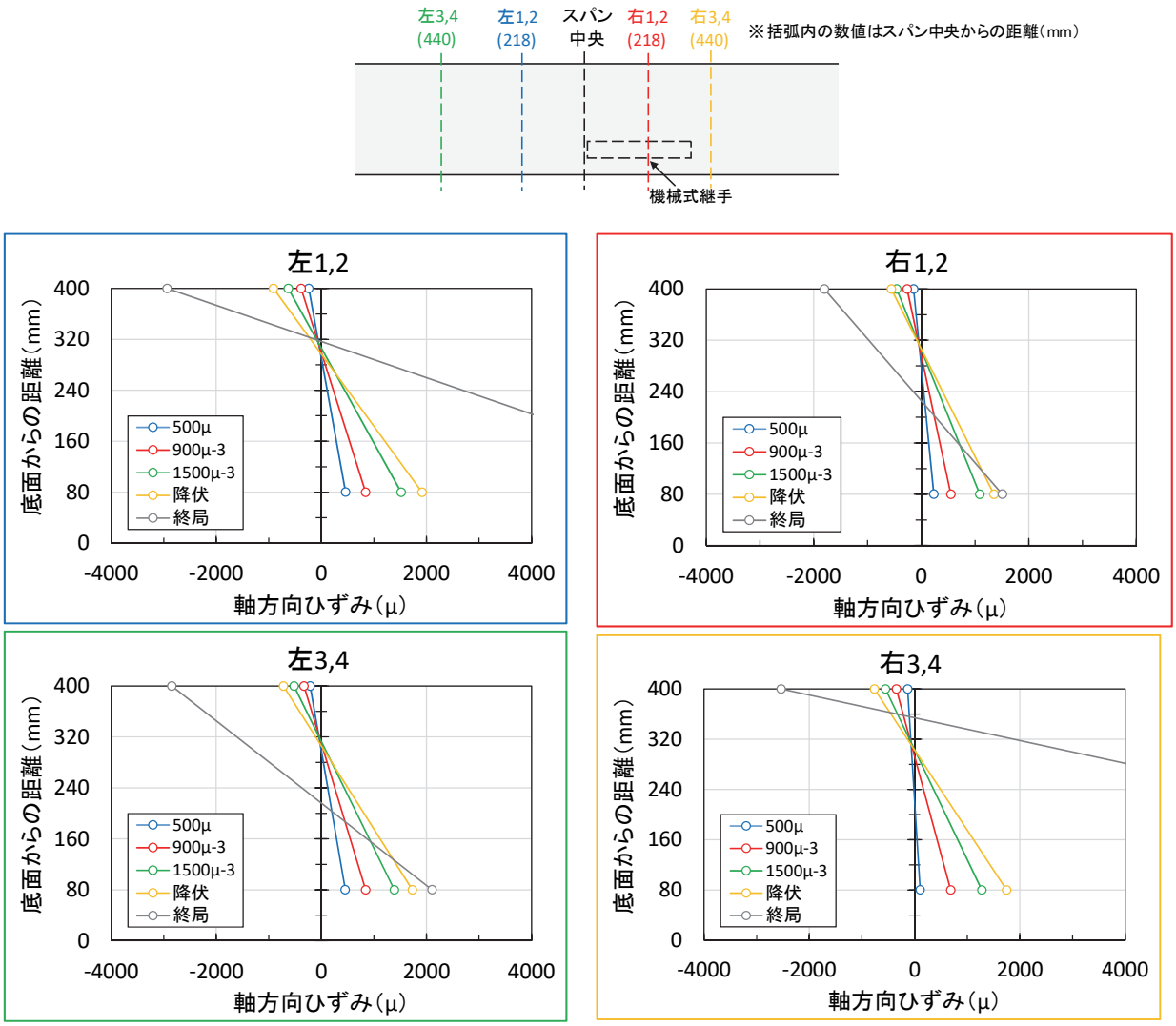
参考　図 4-9　試験体 No.9：中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm、G1（竹節）



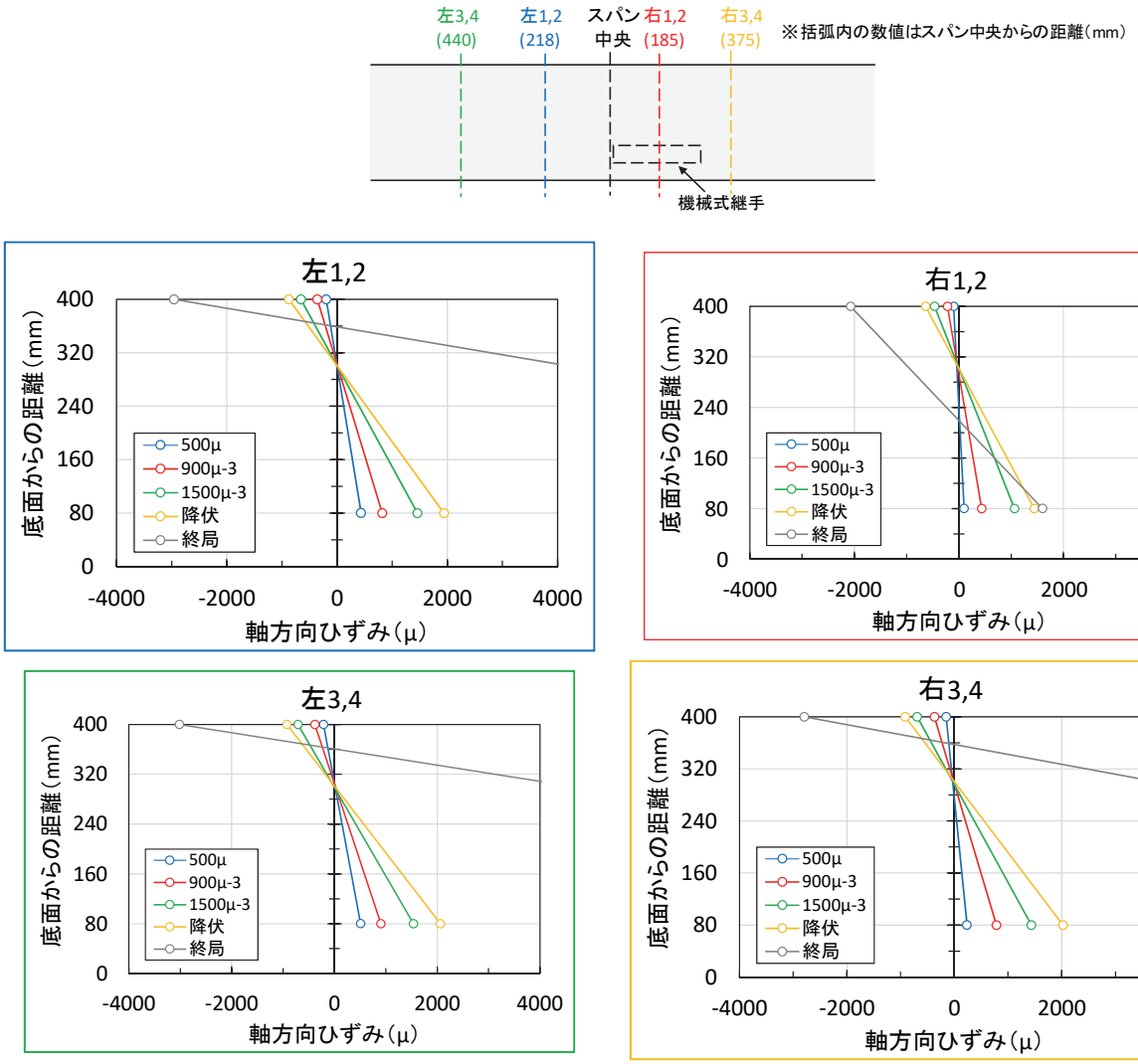
参考　図 4-10　試験体 No.10：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、G1（竹節）



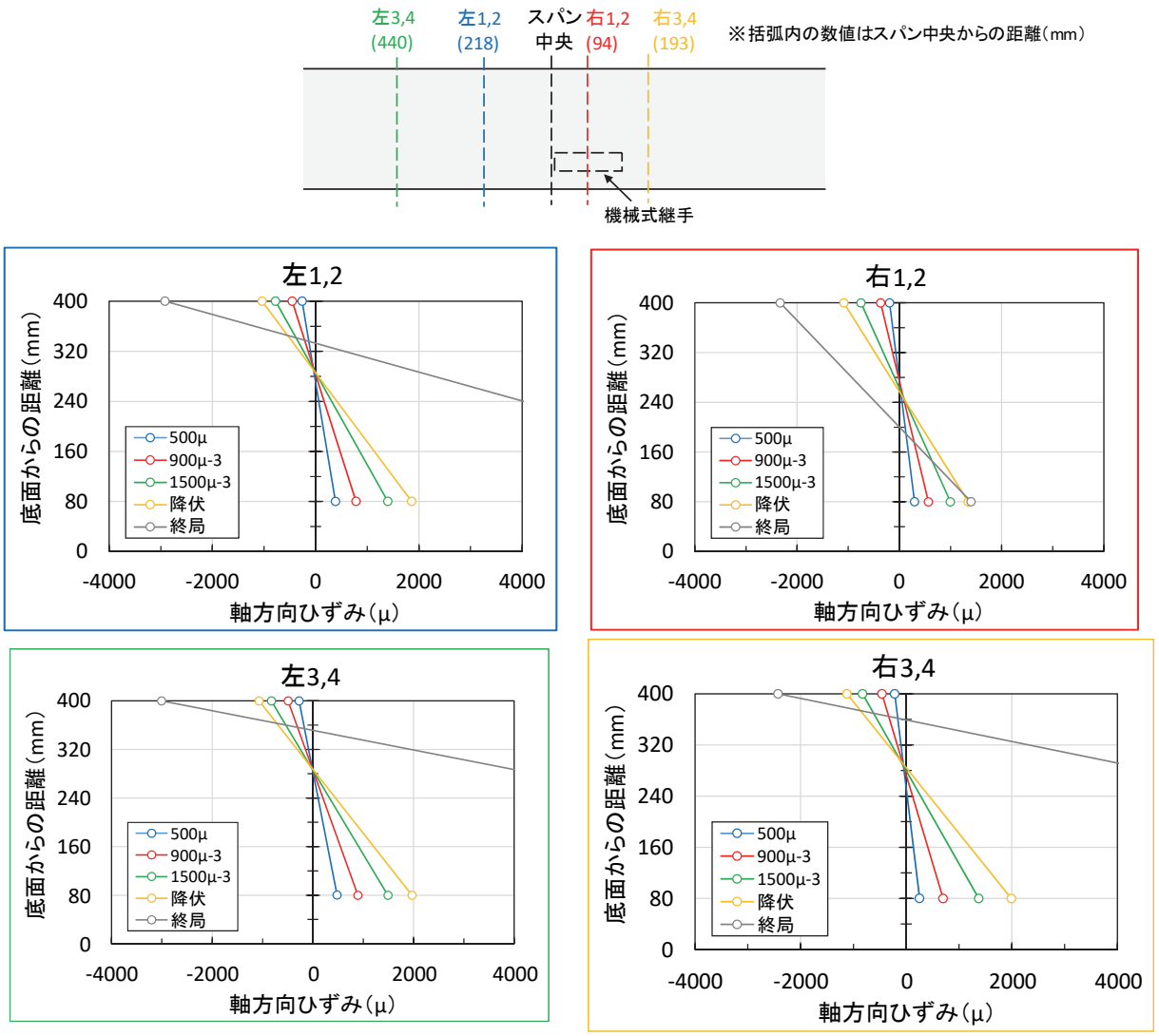
参考　図 4-11　試験体 No.11：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小、G1（竹節）



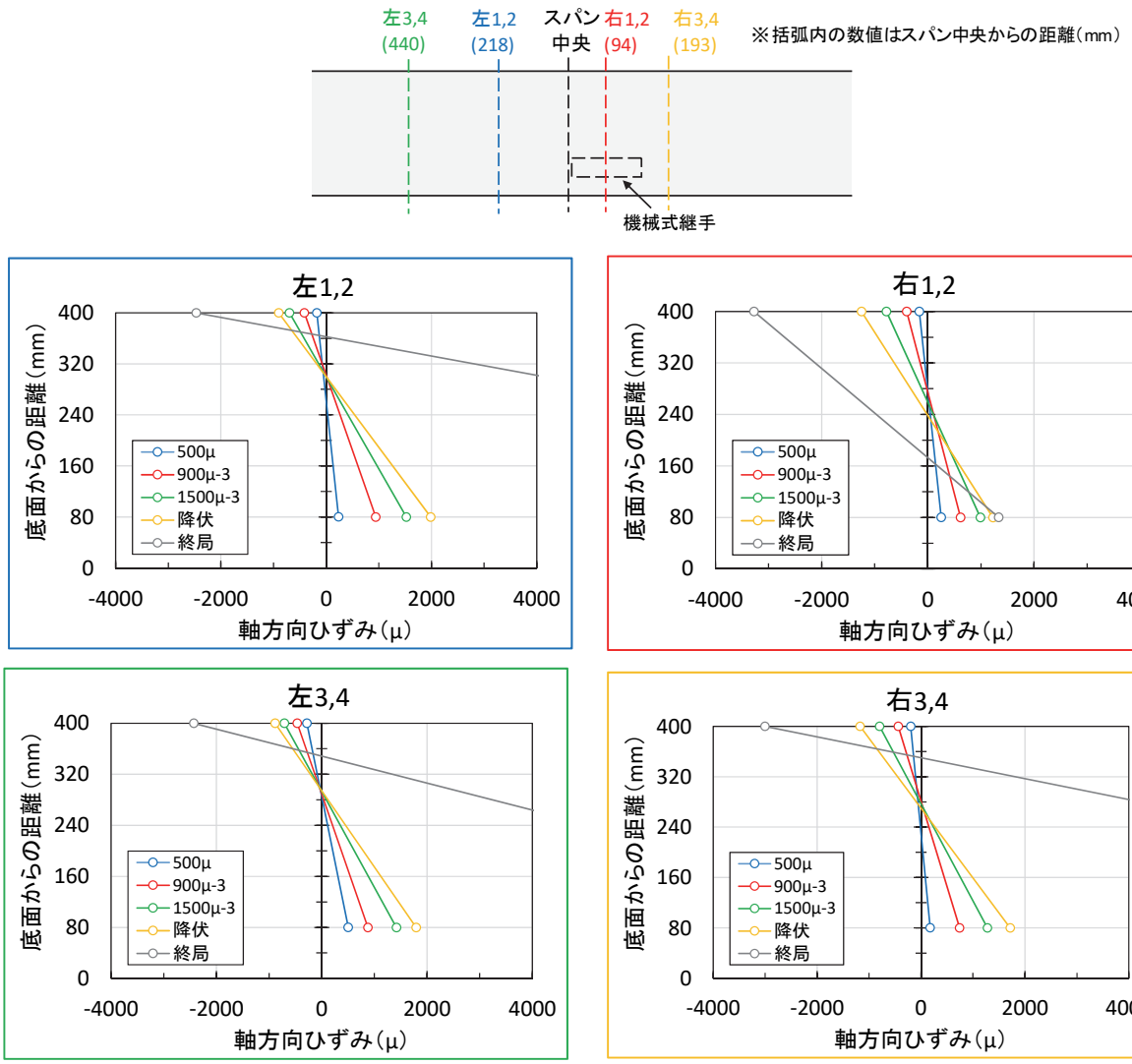
参考　図 4-12　試験体 No.12：中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm、G1（竹節）



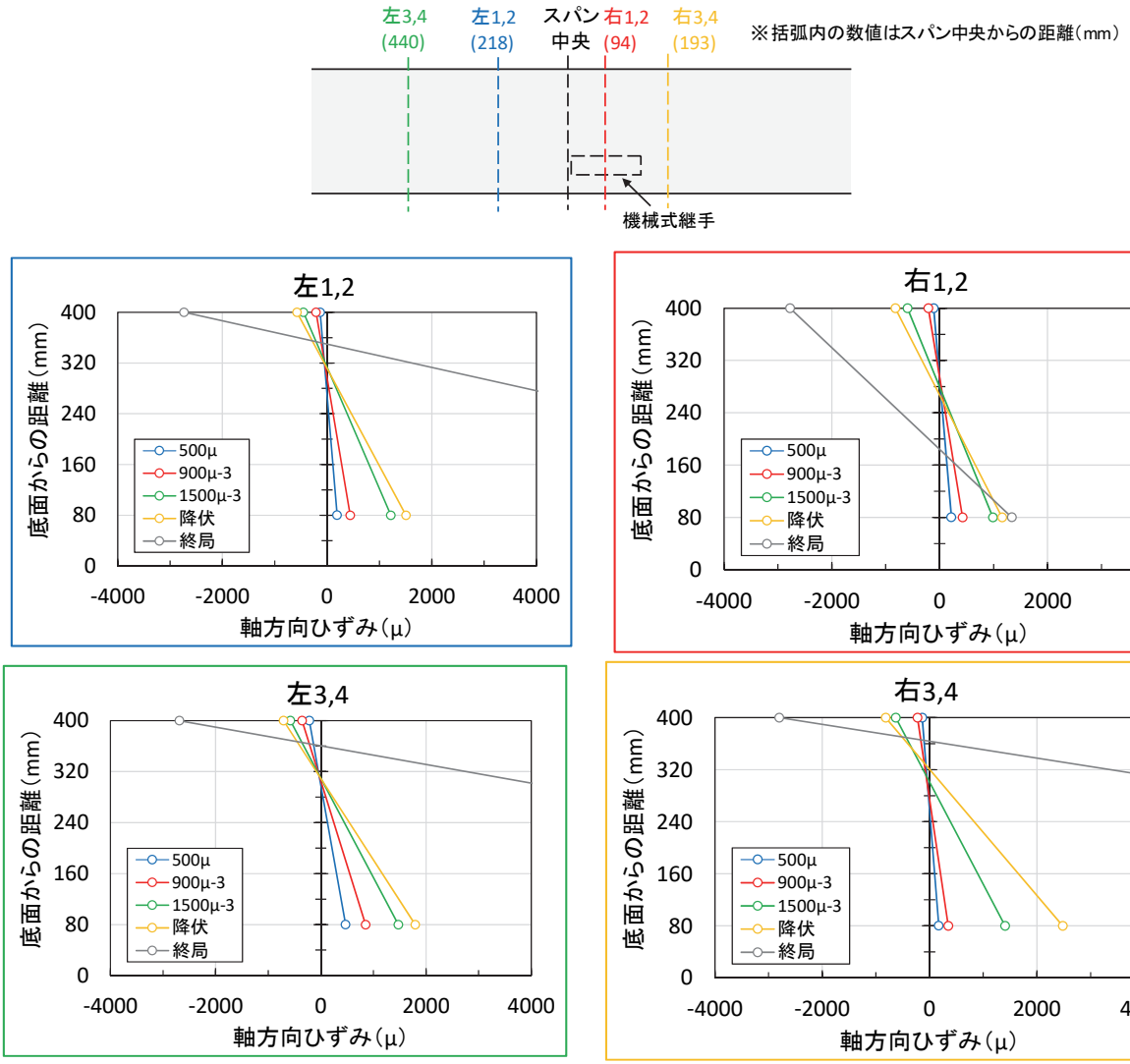
参考　図 4-13　試験体 No.13：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、G2（竹節）



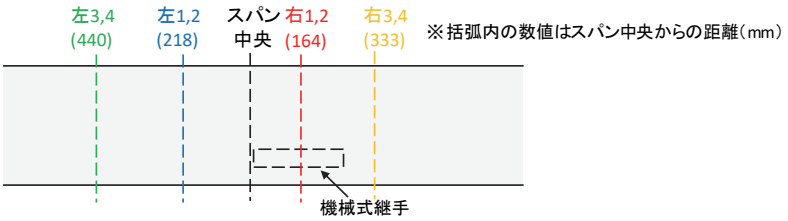
参考　図 4-14　試験体 No.14：中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm、T1（ねじ節）

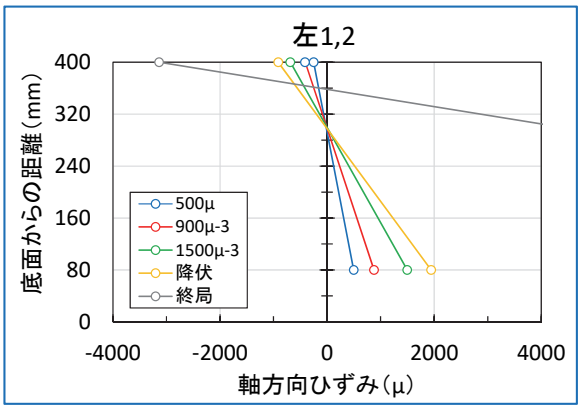


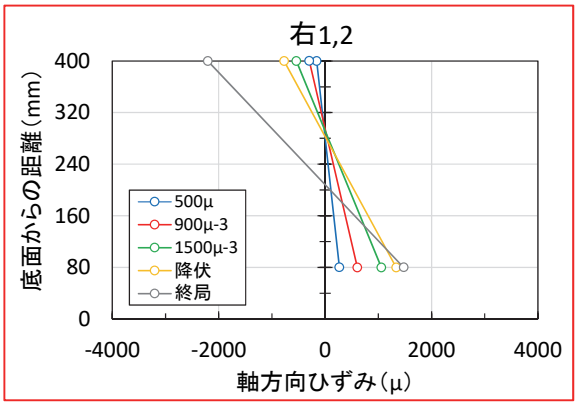
参考　図 4-15　試験体 No.15：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、T1（ねじ節）

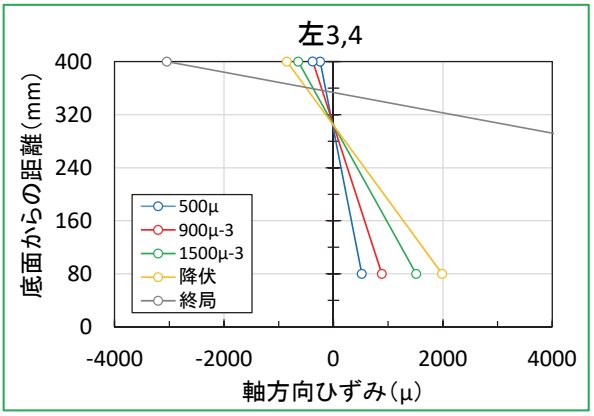


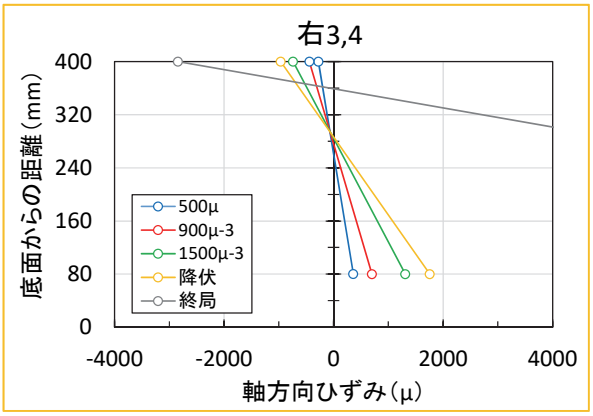
参考　図 4-16　試験体 No.16：中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm、T1（ねじ節）



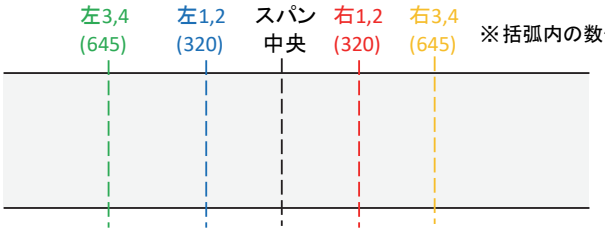


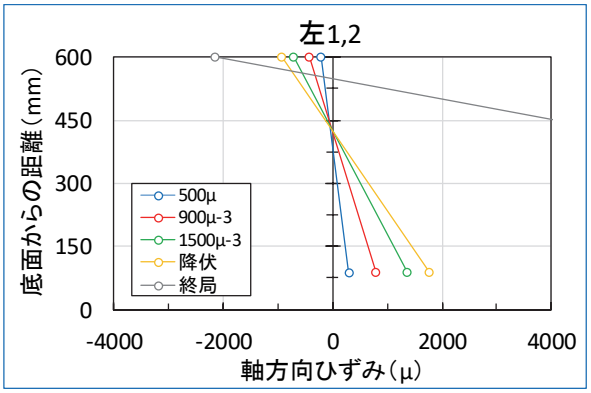


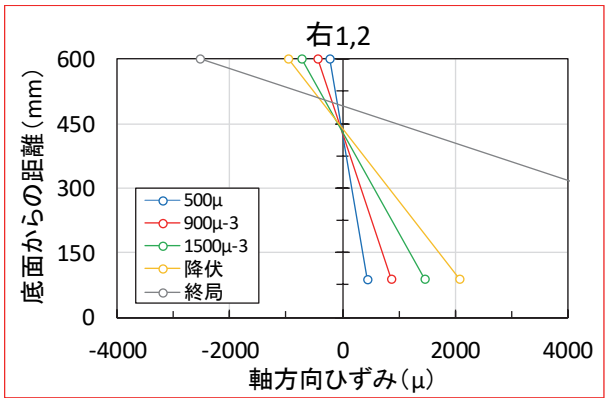


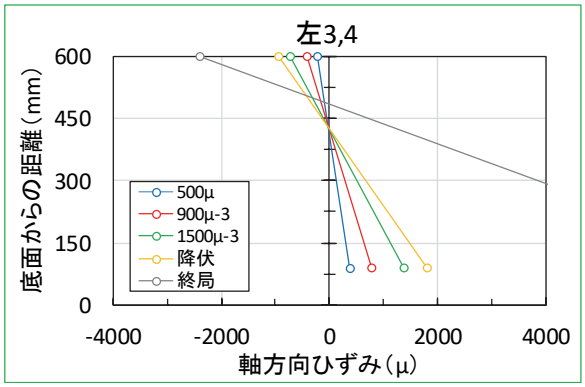


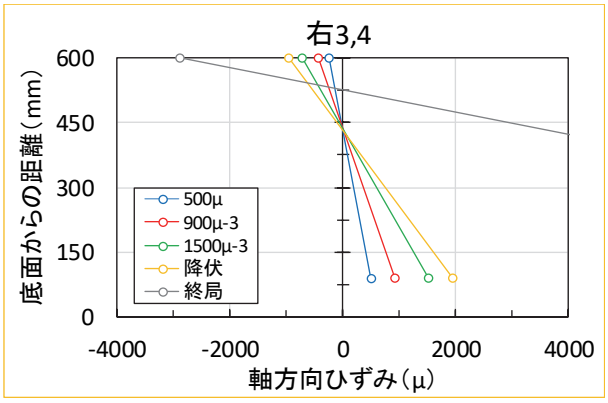
参考　図 4-17　試験体 No.17：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、T2（ねじ節）



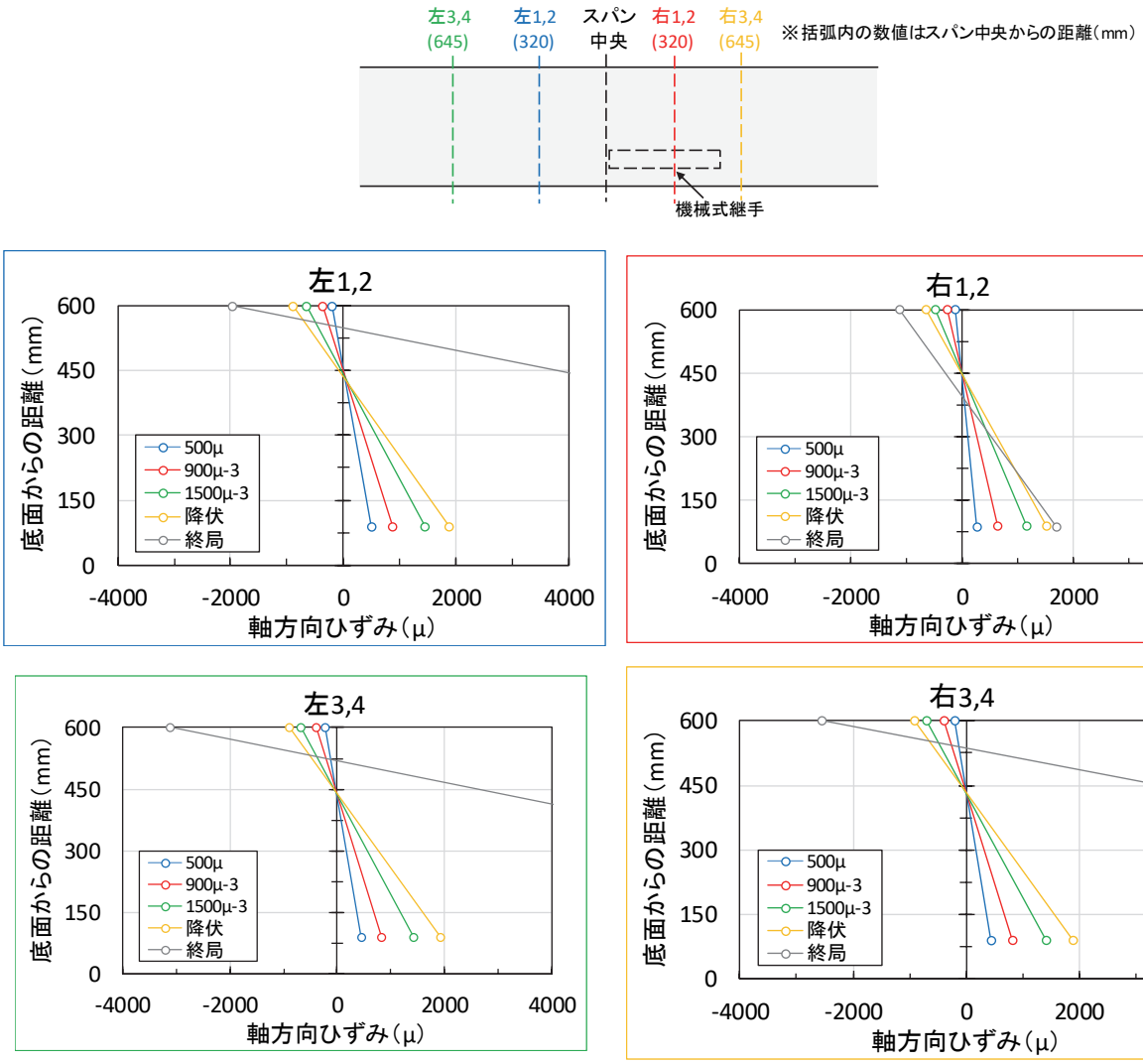




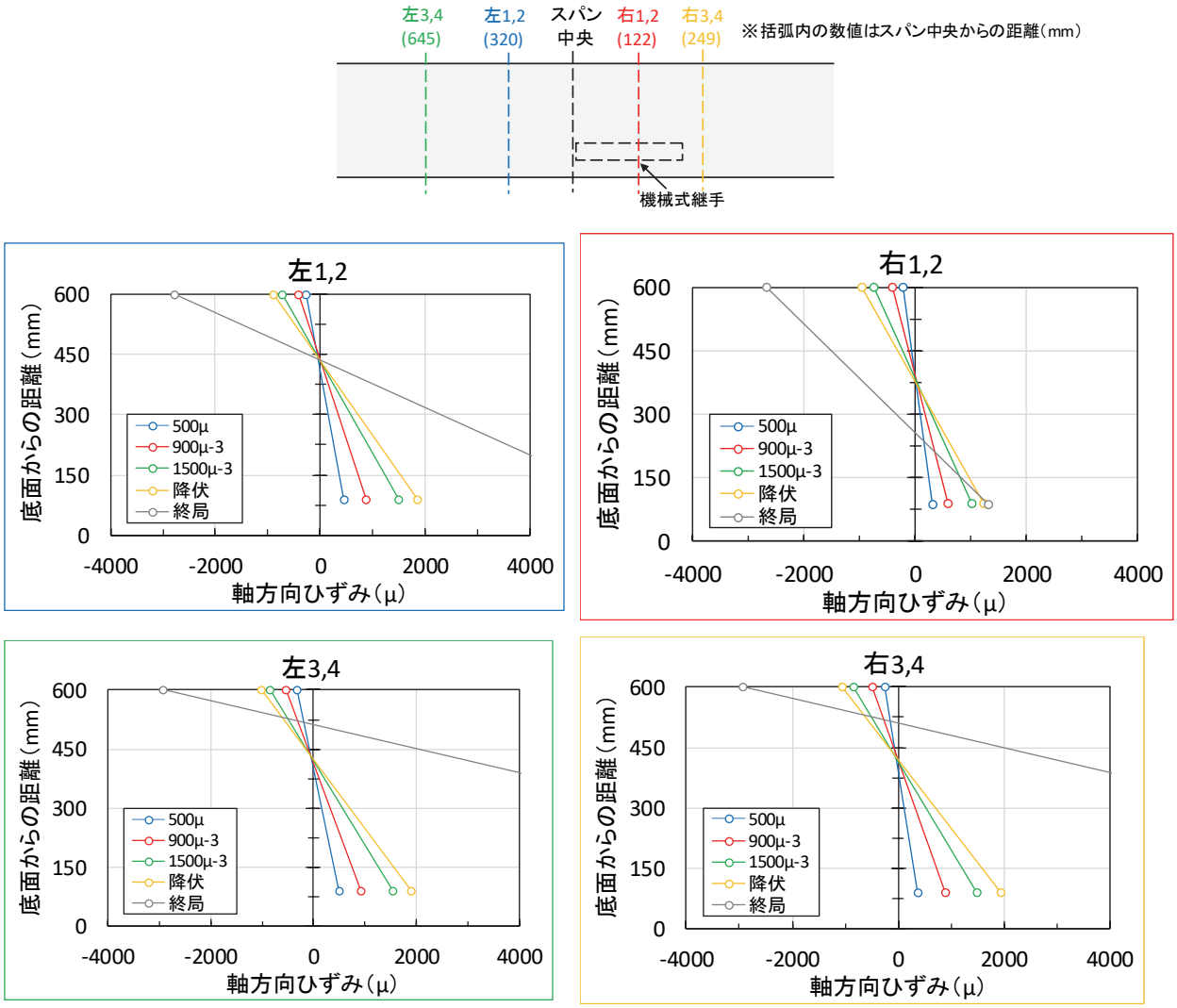




参考　図 4-18　試験体 No.18：大型試験体、継手なし（竹節）



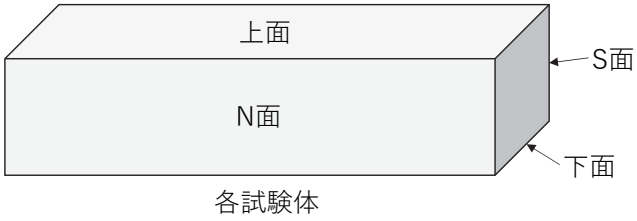
参考　図 4-19　試験体 No.19：大型試験体、G1（竹節）



参考　図 4-20　試験体 No.20：大型試験体、T1（ねじ節）

参考資料５　ひび割れスケッチ

この参考資料は、試験体 No.1～20 のひび割れスケッチをまとめたものである。**参考　図 5-1** にひび割れスケッチで対象とした面（上面、N（北）面、下面、S（南）面）を示す。次頁以降の**参考　図 5-2～21** は、各荷重レベルにおける上面、N 面、下面および S 面の曲げひび割れのスケッチを展開した図である。また、**参考　表 5-1** に小型試験体の凡例、**参考　表 5-2** に中型および大型試験体の凡例を示す。



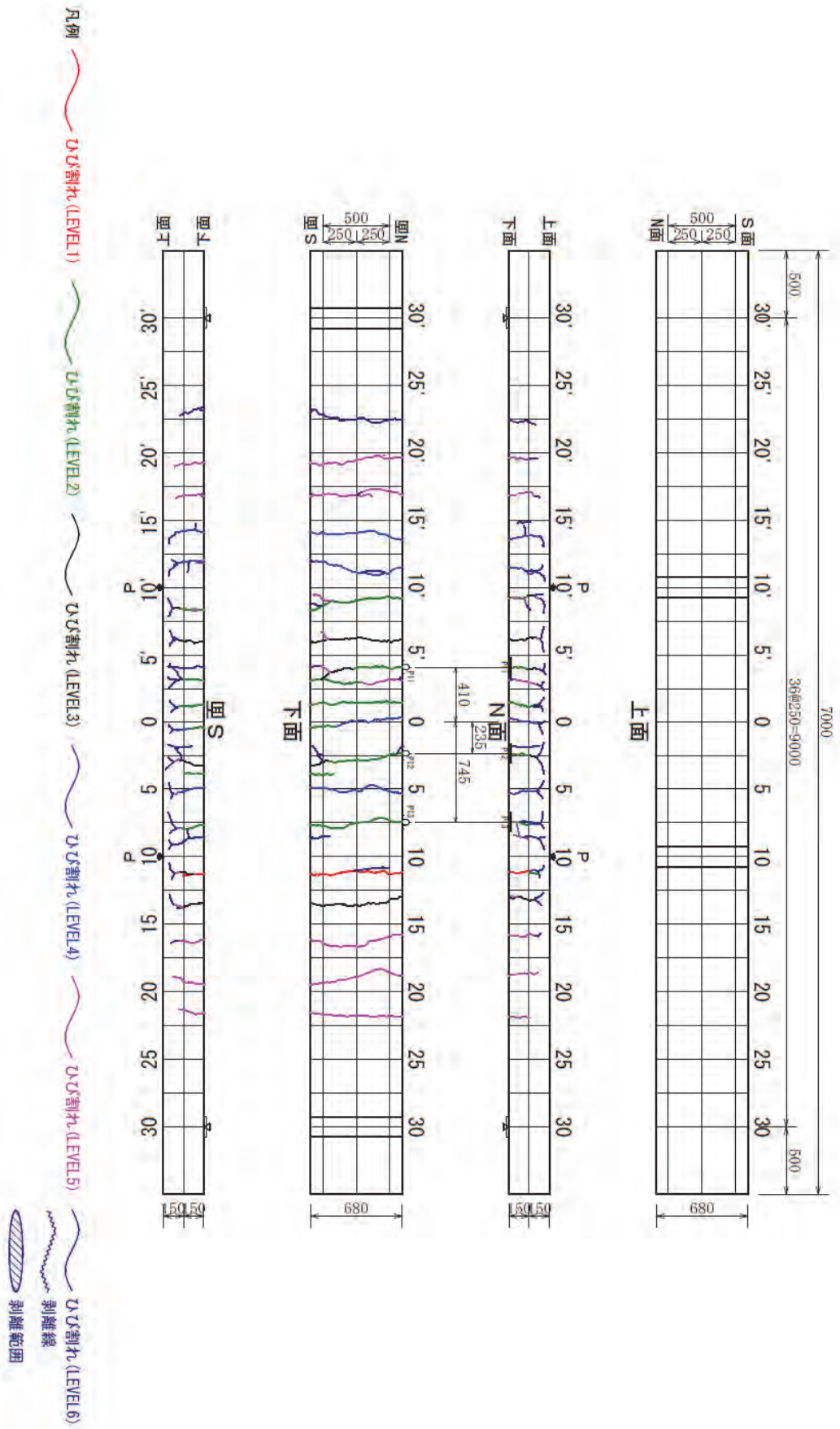
参考　図 5-1　ひび割れスケッチで対象とした面

参考　表 5-1　小型試験体の凡例

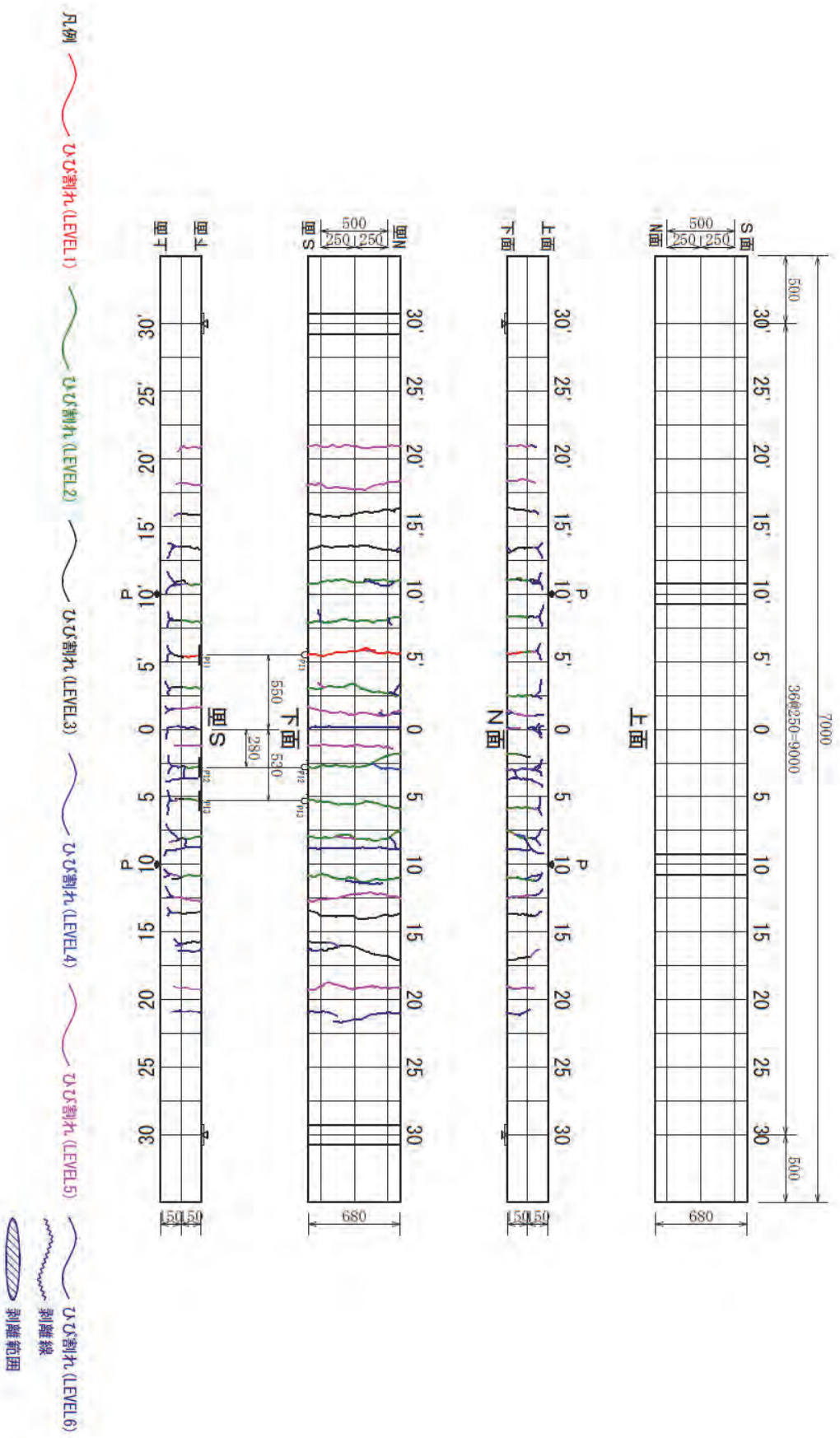
LEVEL	載荷レベル
1	曲げひび割れ発生
2	鉄筋ひずみ 900μ
3	鉄筋ひずみ 1200μ
4	鉄筋ひずみ 1500μ
5	鉄筋降伏
6	終局

参考　表 5-2　中型および大型試験体の凡例

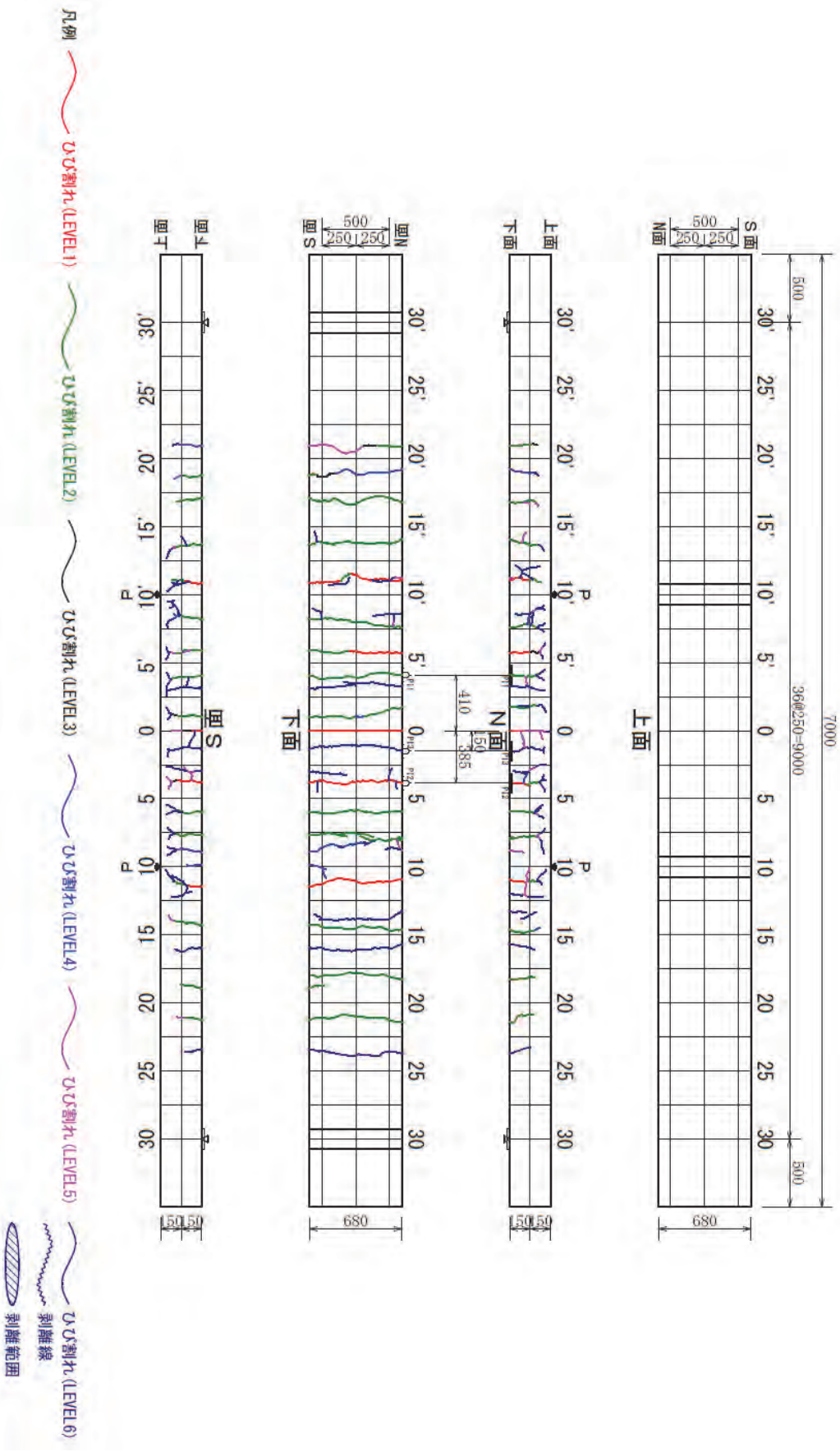
LEVEL	載荷レベル
1	曲げひび割れ発生
2	鉄筋ひずみ 500μ
3	鉄筋ひずみ 900μ
4	鉄筋ひずみ 1500μ
5	鉄筋降伏
6	終局



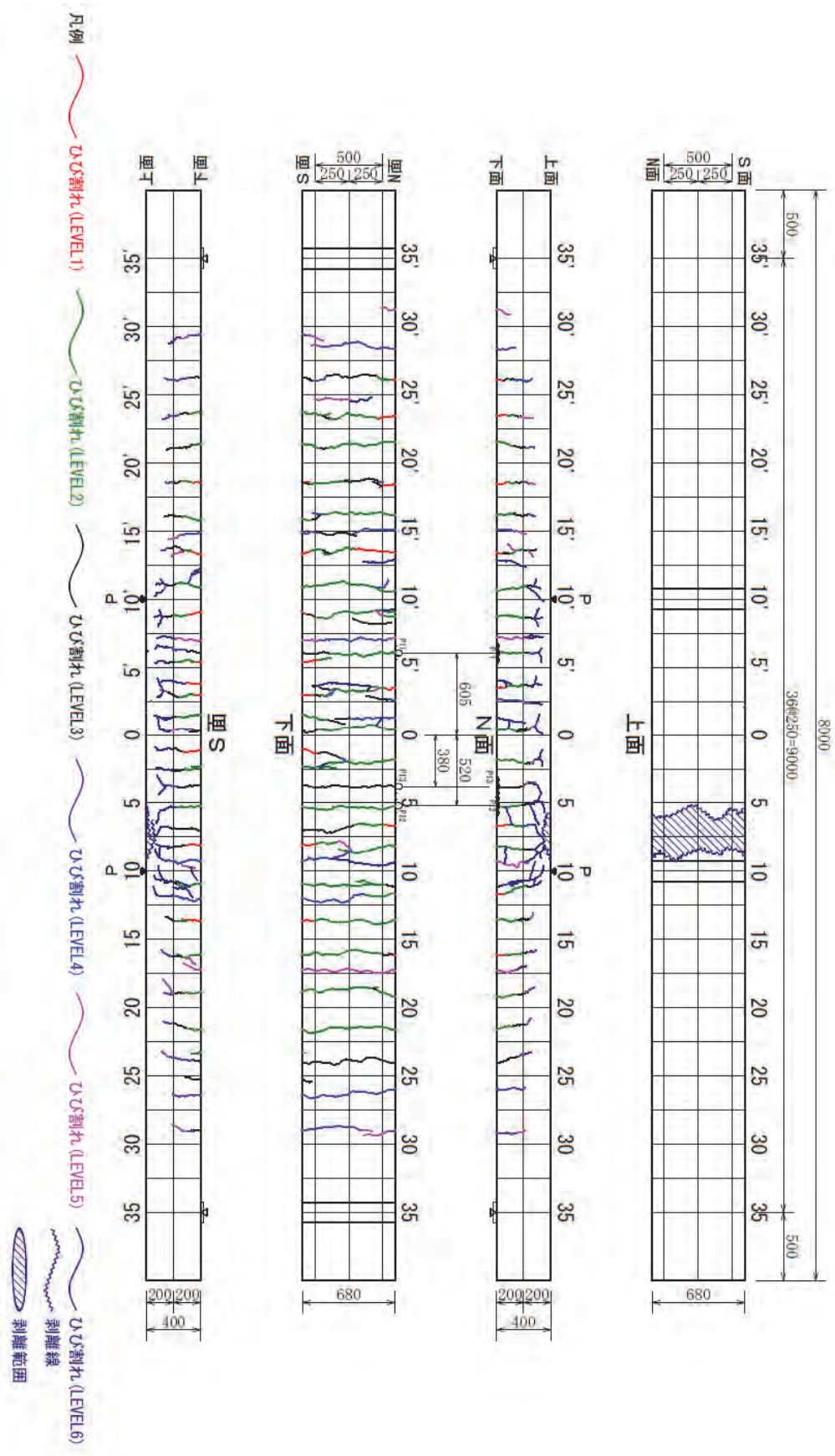
参考　図 5-2　試験体 No.1：小型試験体、継手なし（竹節）



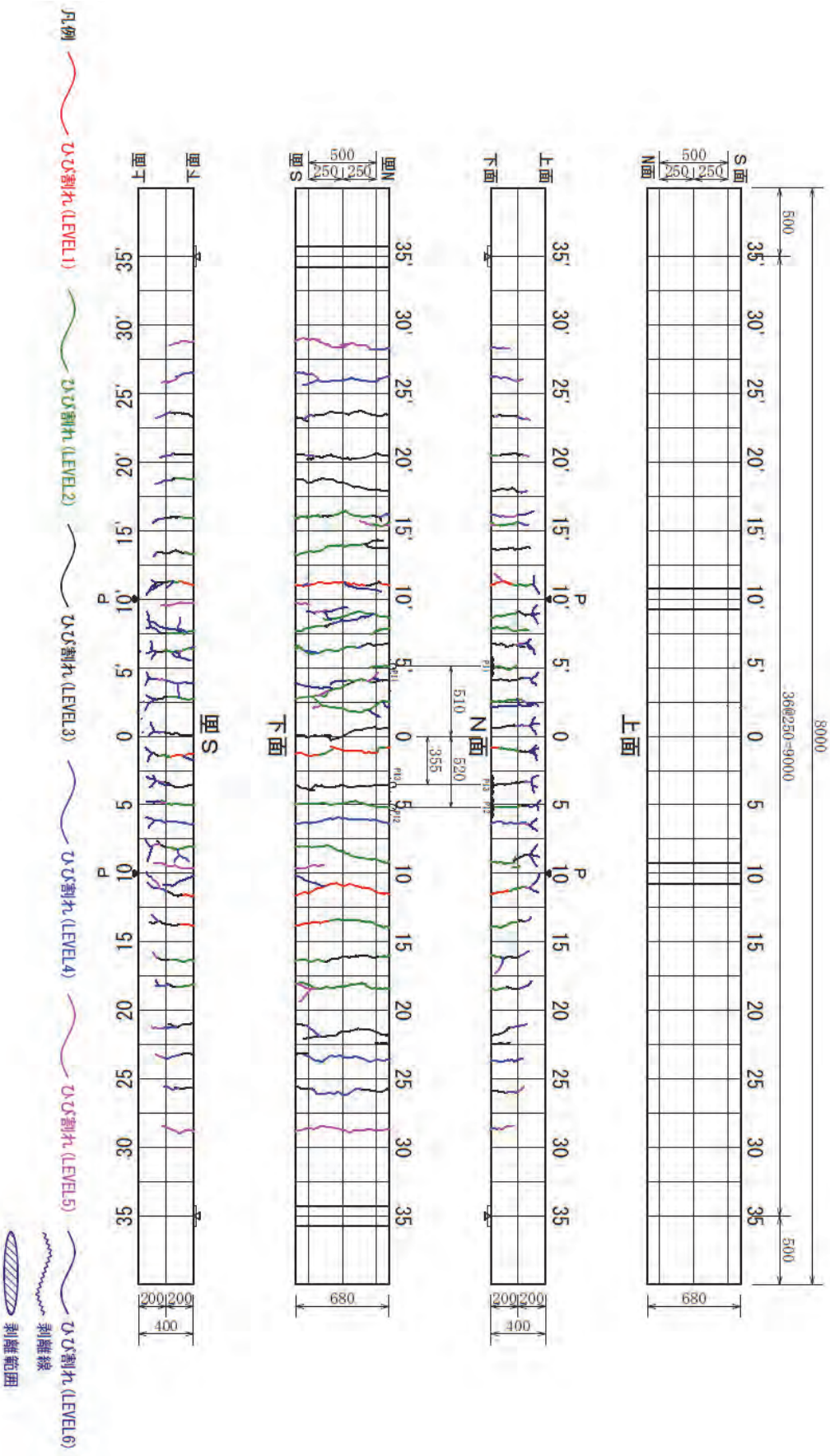
参考　図 5-3　試験体 No.2：小型試験体、G1（竹節）



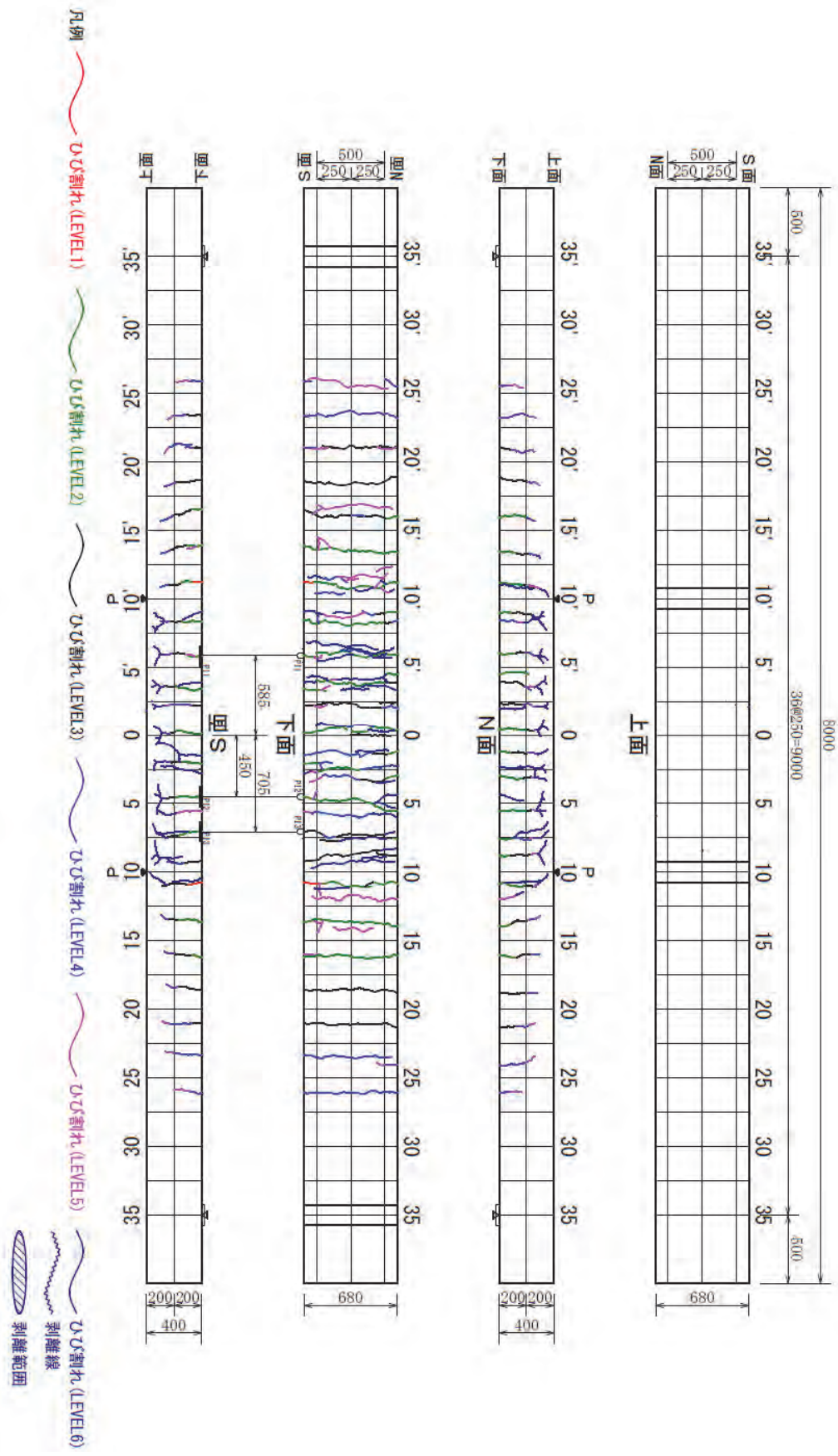
参考　図 5-4　試験体 No.3：小型試験体、T1（ねじ節）



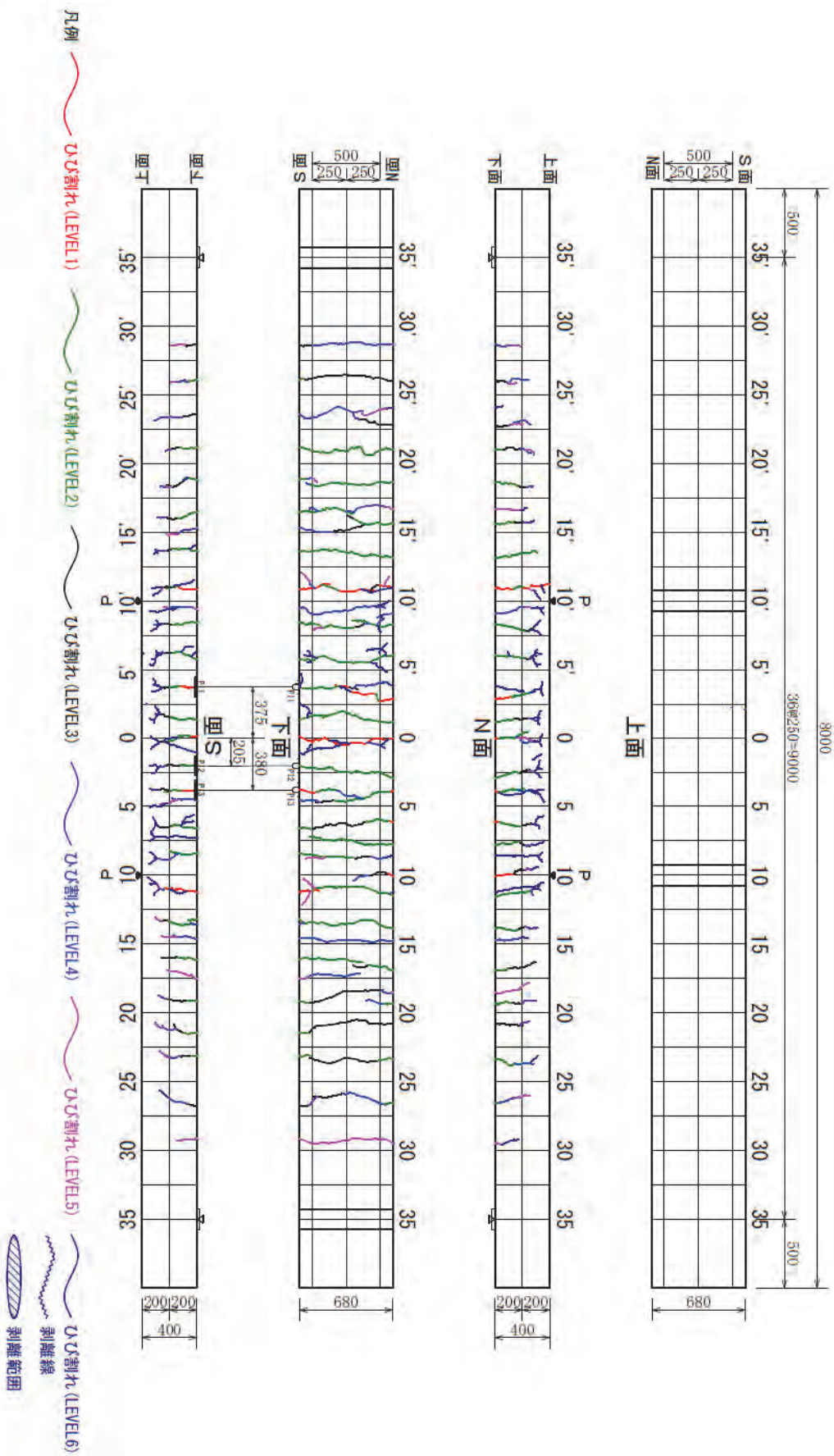
参考　図 5-5　試験体 No.4：中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm、継手なし（竹節）



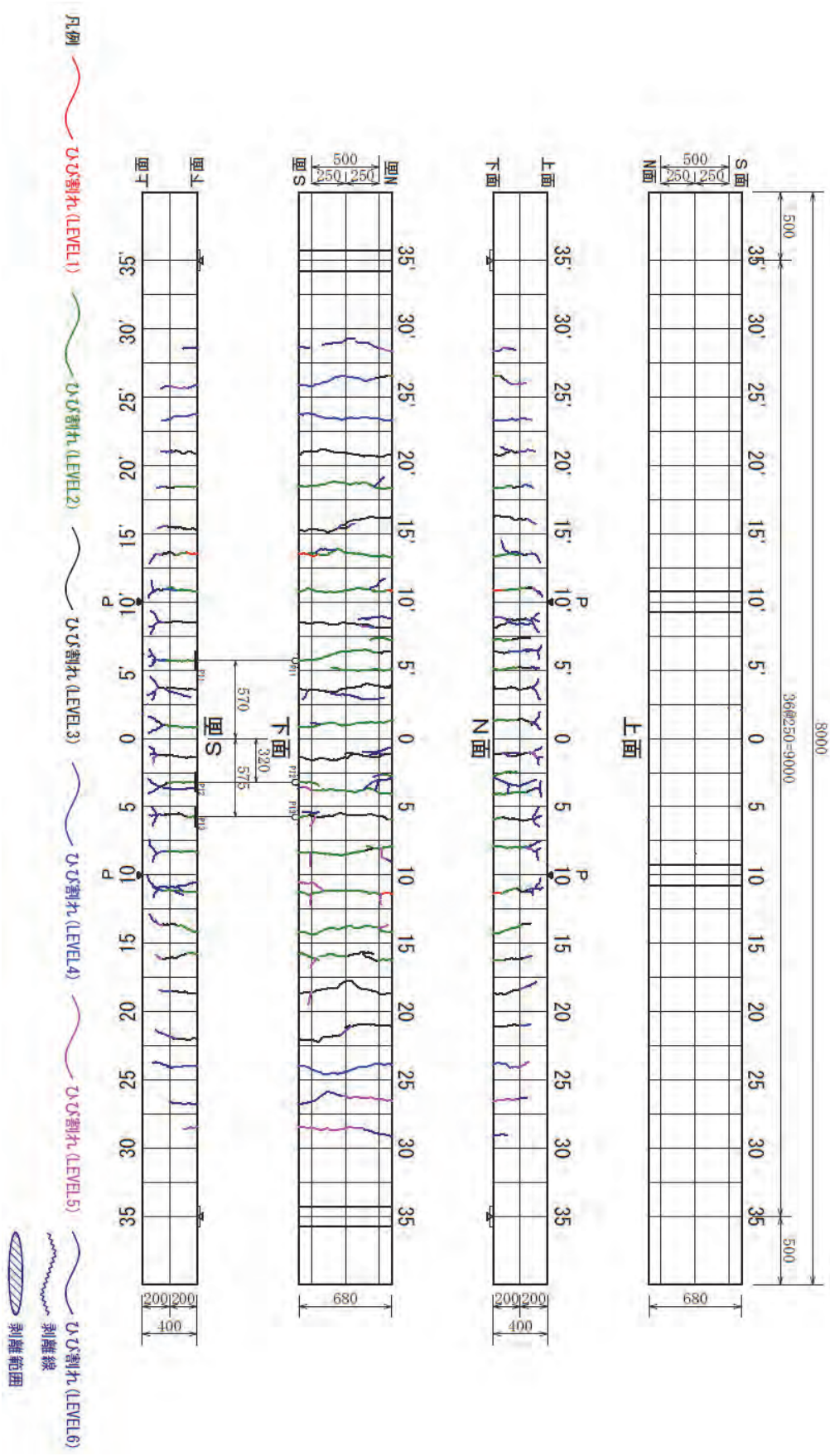
参考　図 5-6　試験体 No.5：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、継手なし（竹節）



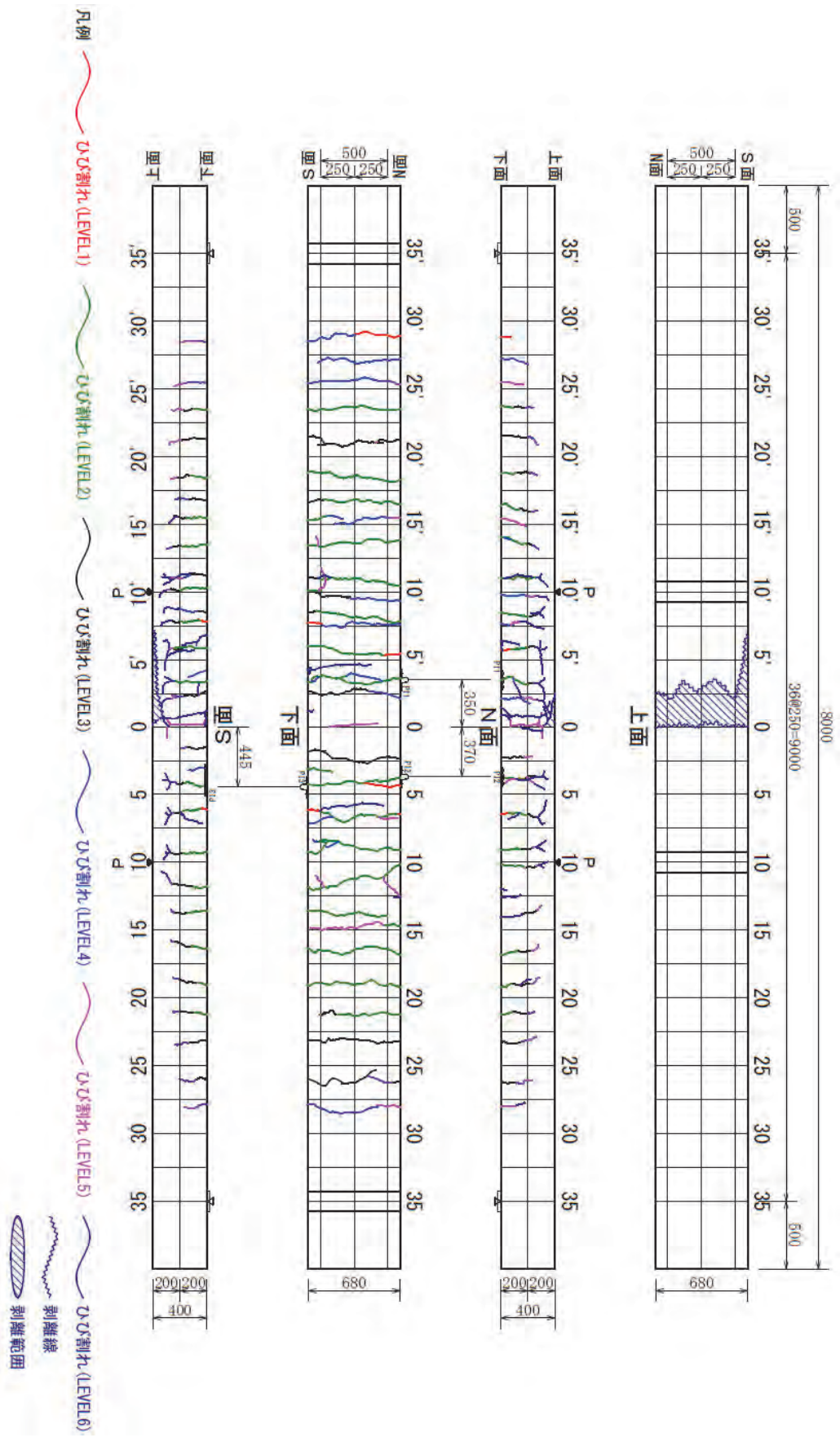
参考　図 5-7　試験体 No.6：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小、継手なし（竹節）



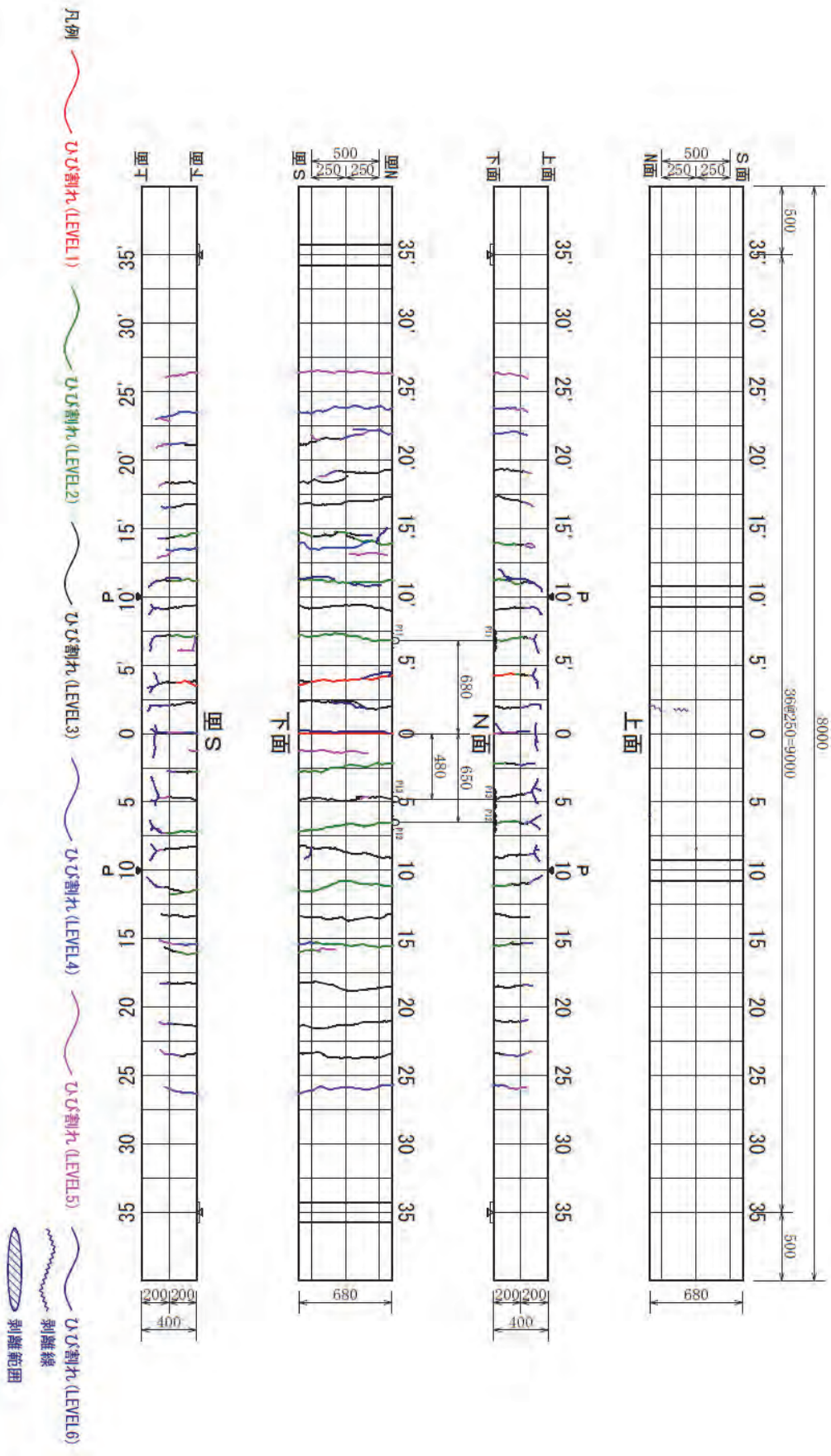
参考　図 5-8　試験体 No.7：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、継手なし（ねじ節）



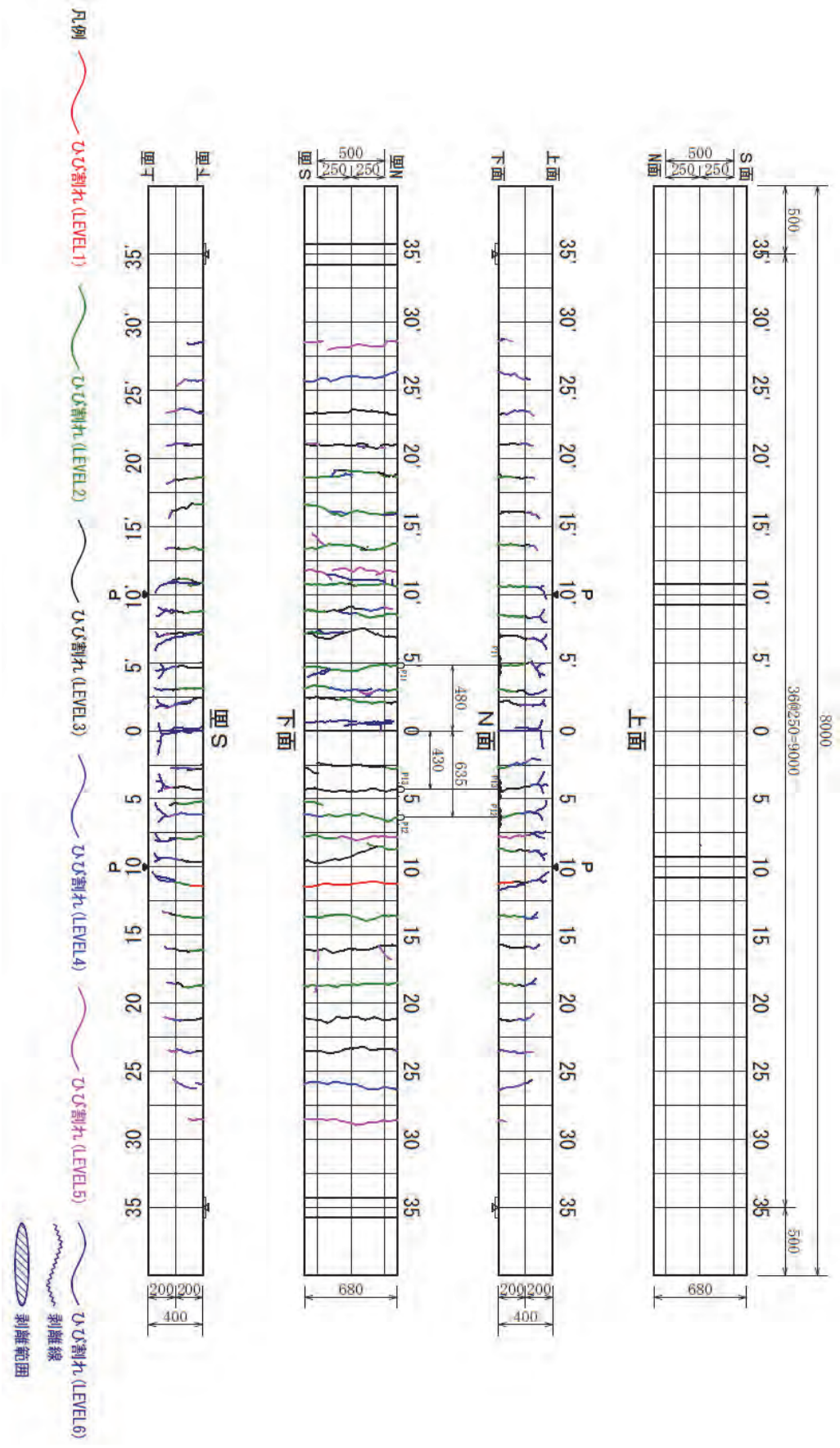
参考　図 5-9　試験体 No.8：中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm、継手なし（竹節）



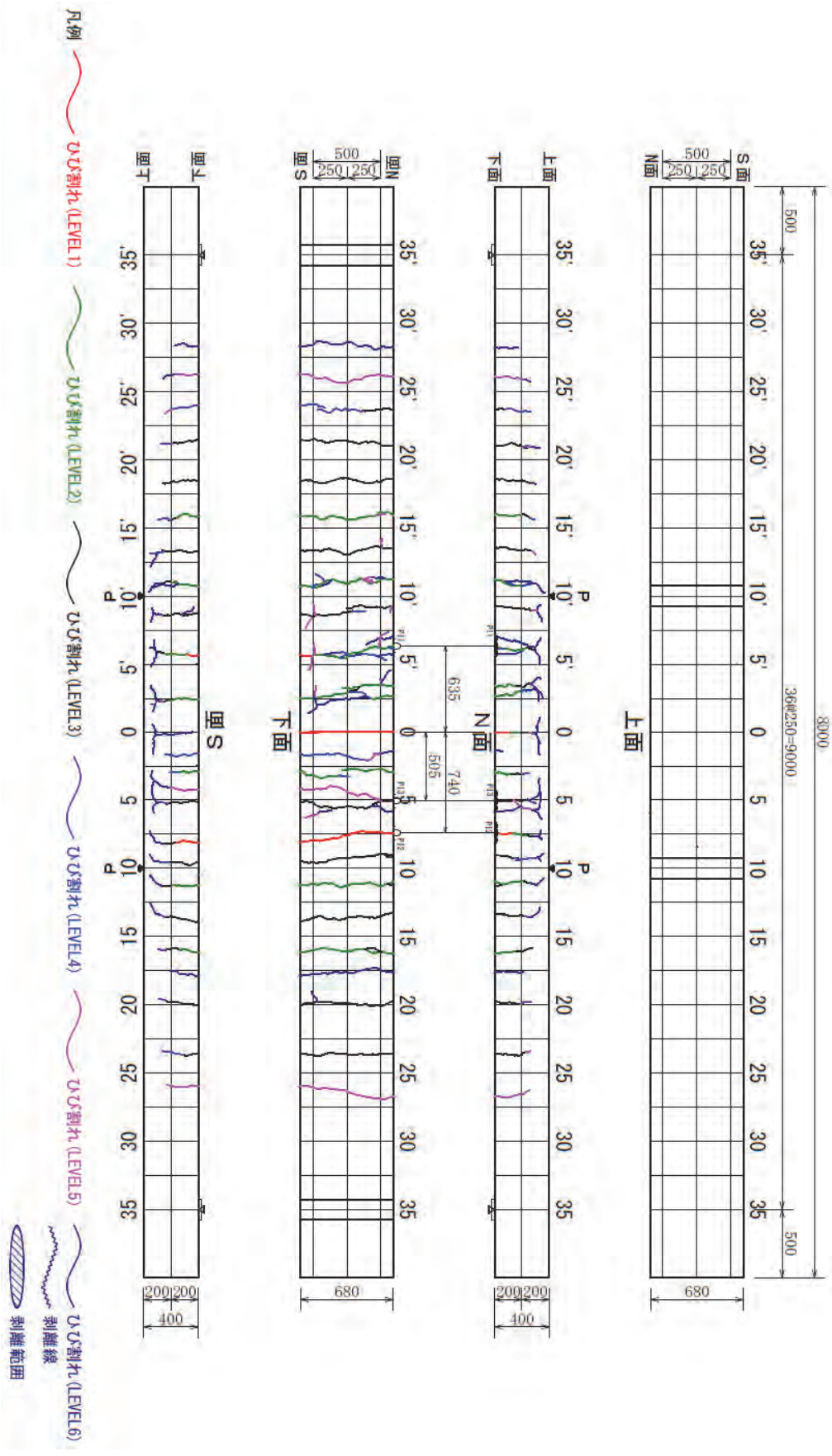
参考　図 5-10　試験体 No.9：中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm、G1（竹節）



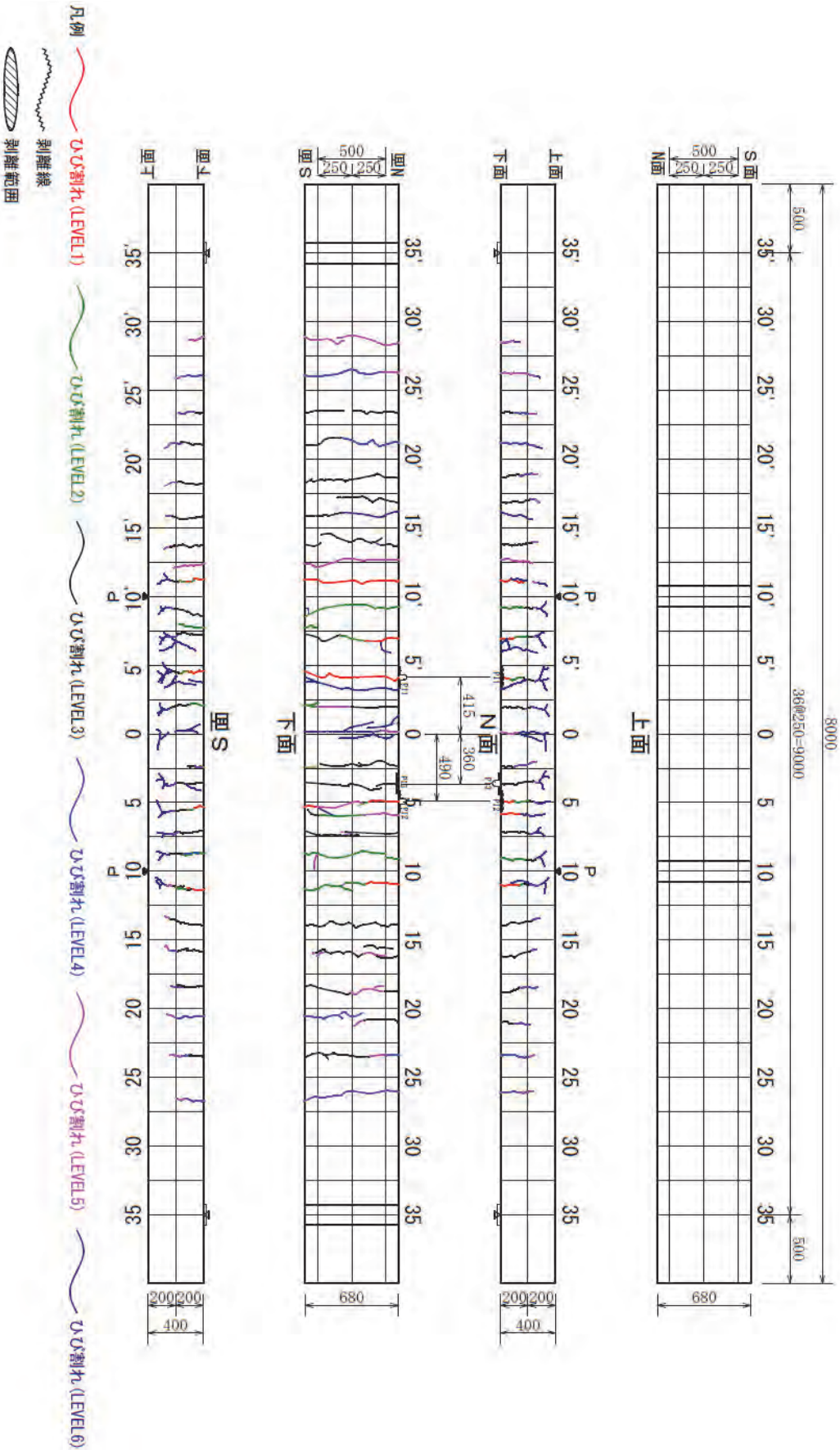
参考　図 5-11　試験体 No.10：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、G1（竹節）



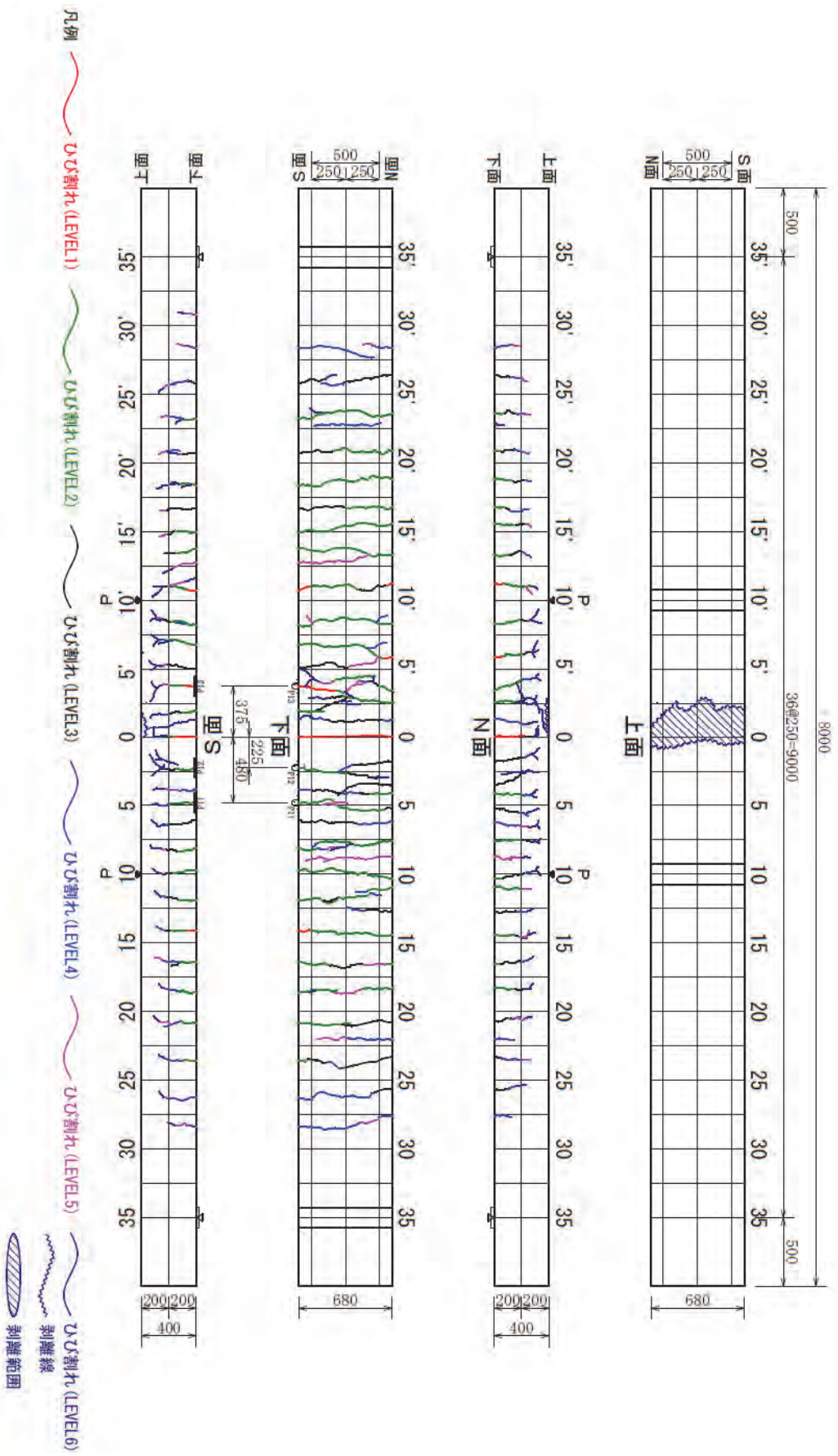
参考　図 5-12　試験体 No.11：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、かぶり小、G1（竹節）



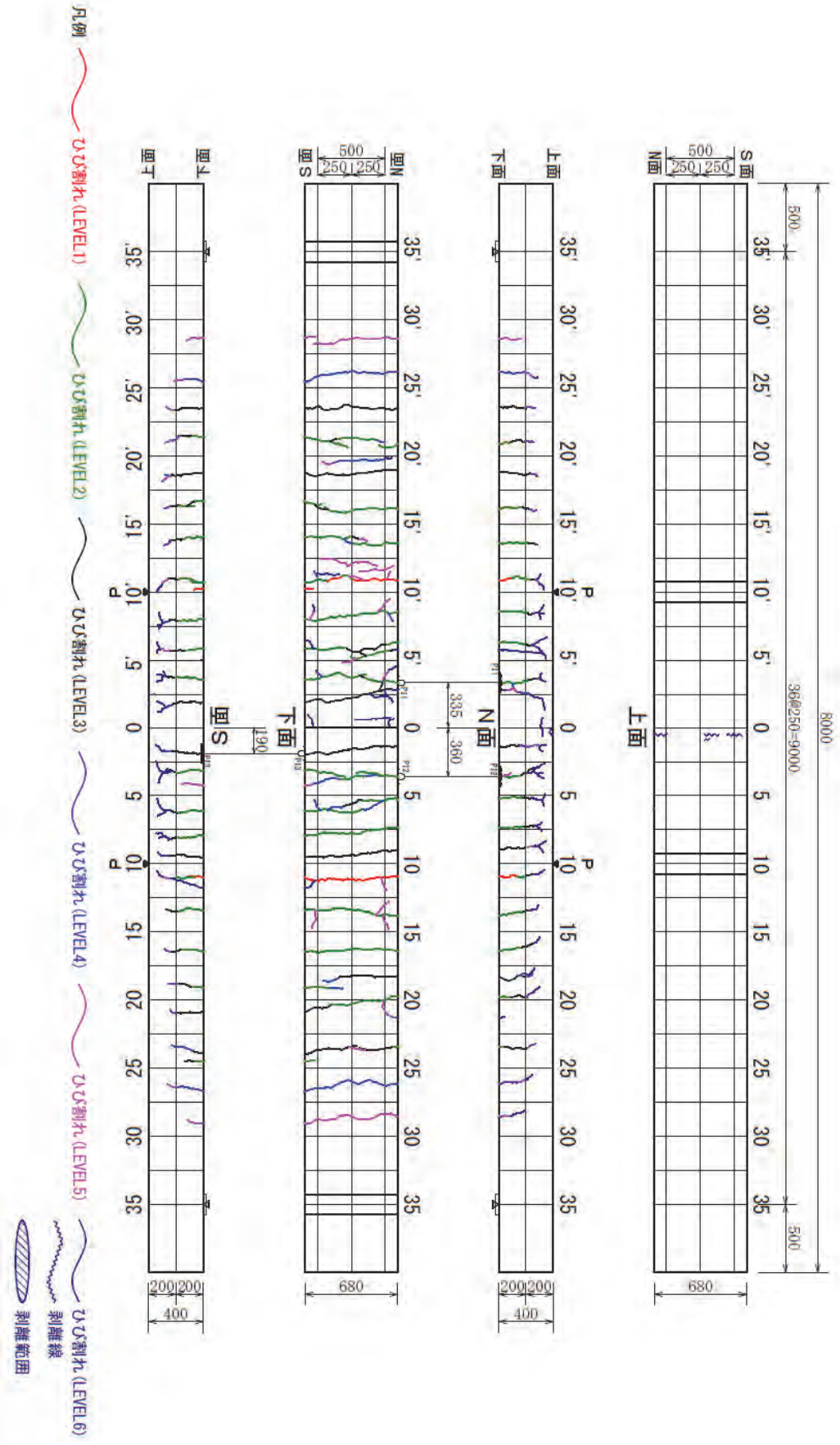
参考　図 5-13　試験体 No.12：中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm、G1（竹節）



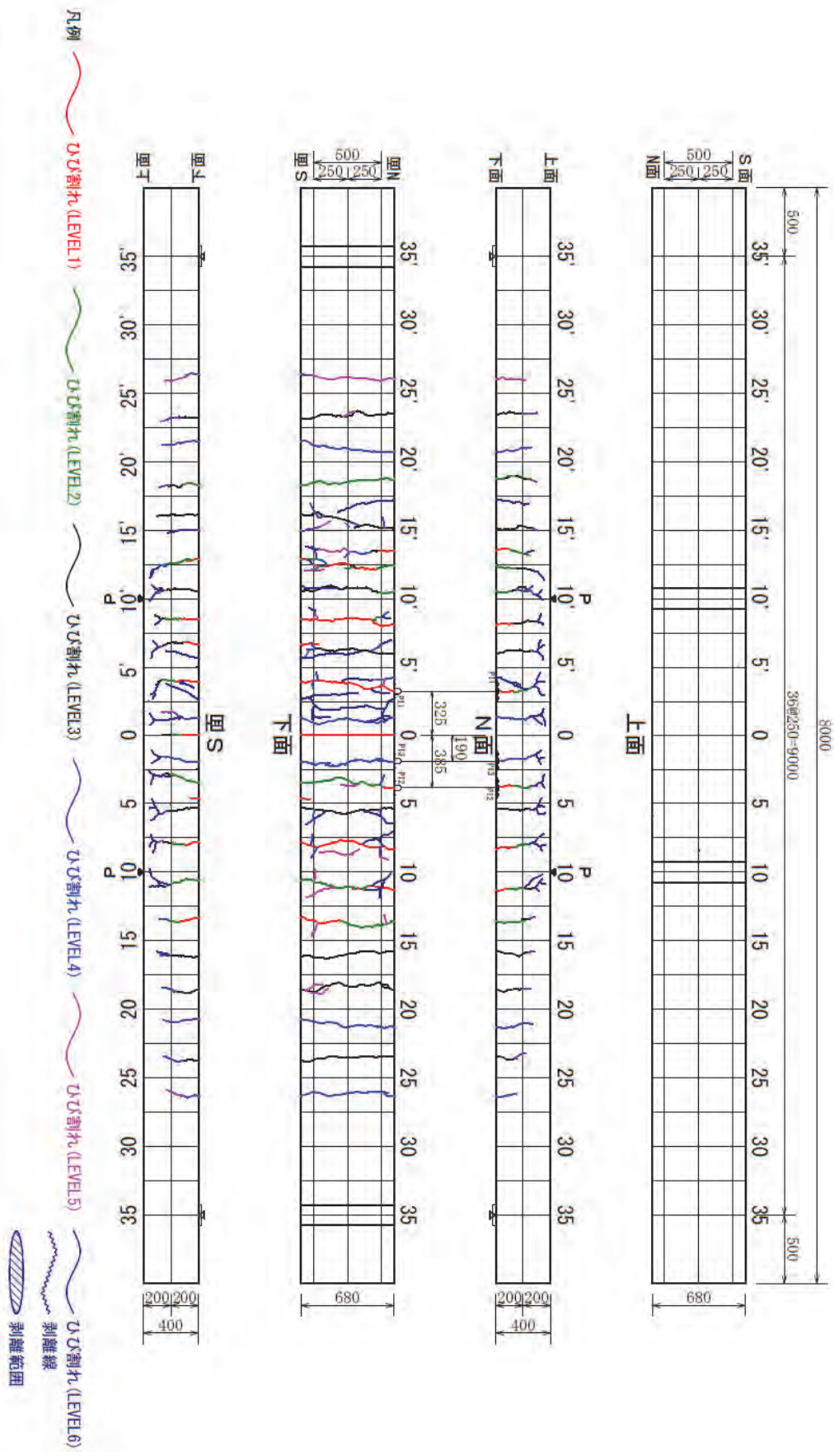
参考　図 5-14　試験体 No.13：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、G2（竹節）



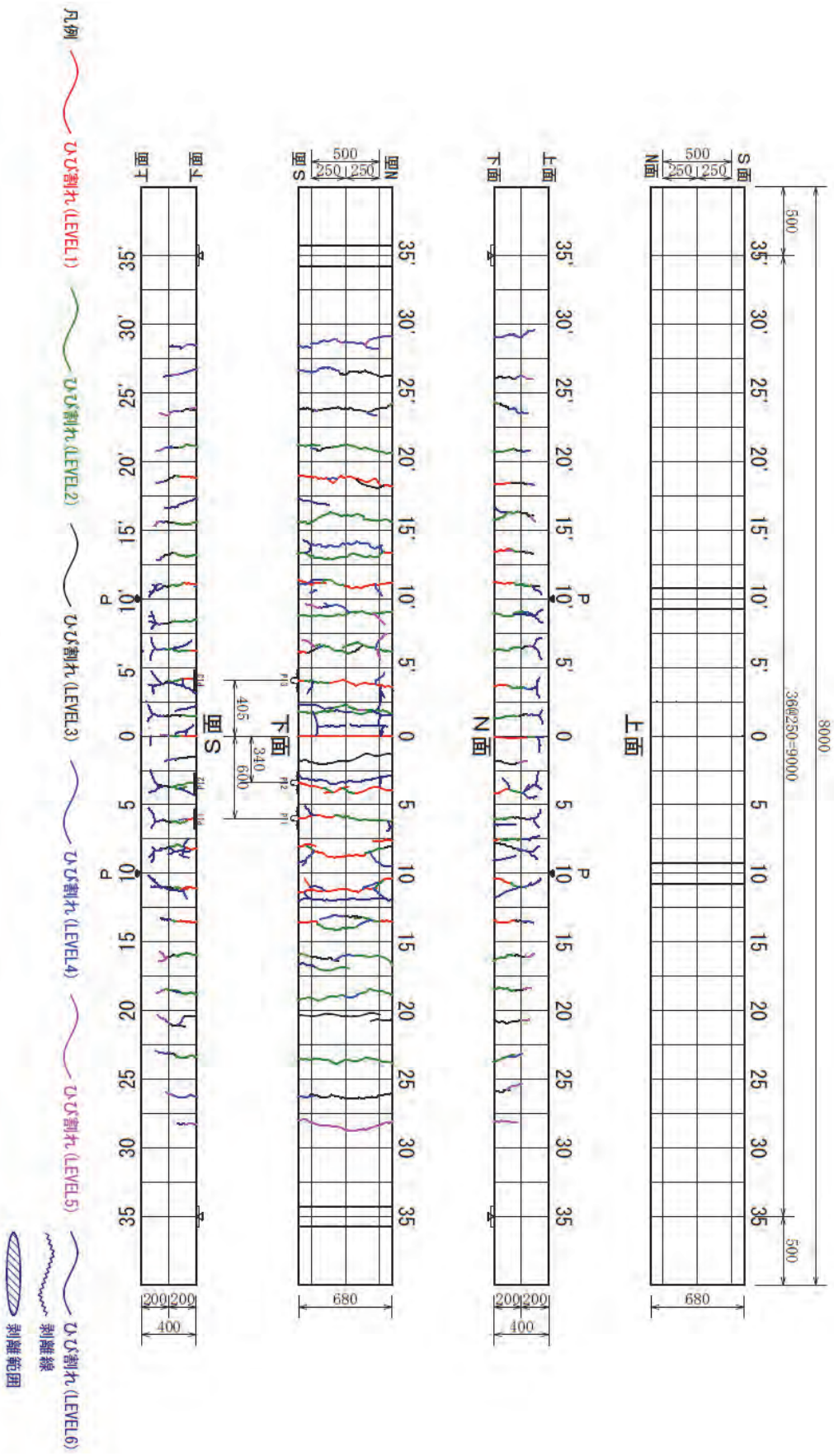
参考　図 5-15　試験体 No.14：中型試験体、鉄筋中心間隔 90mm、T1（ねじ節）



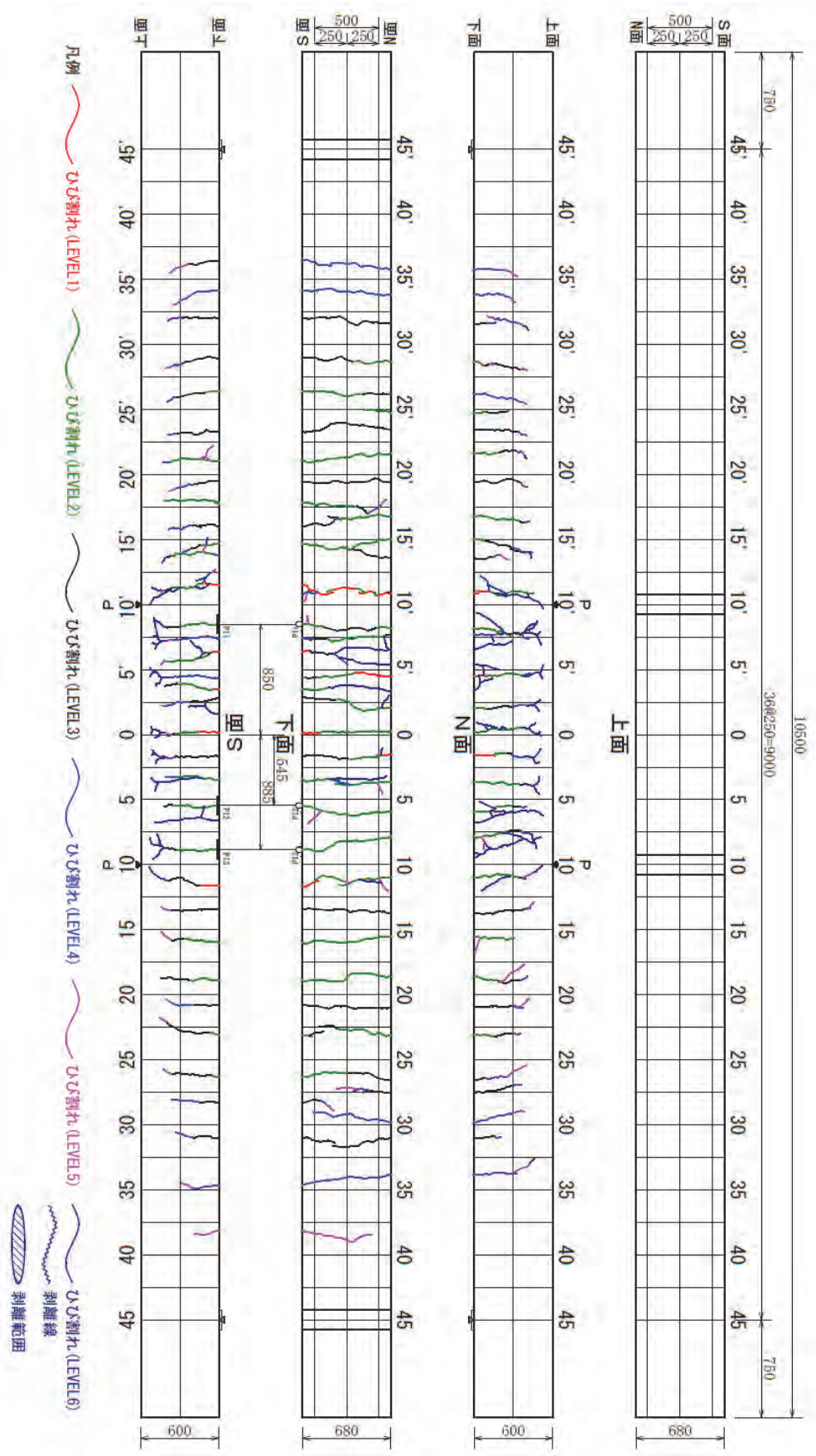
参考　図 5-16　試験体 No.15：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、T1（ねじ節）



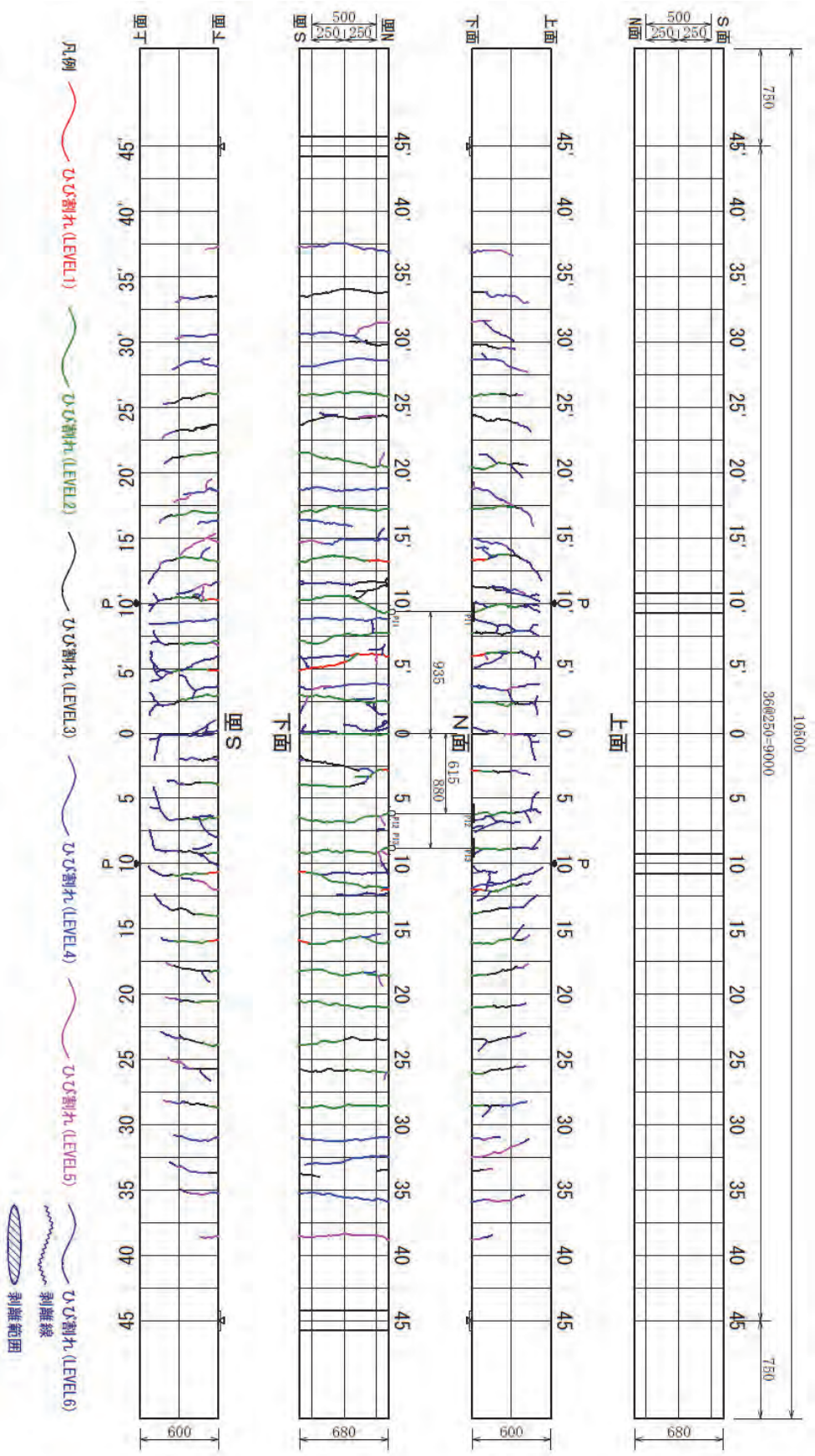
参考　図 5-17　試験体 No.16：中型試験体、鉄筋中心間隔 240mm、T1（ねじ節）



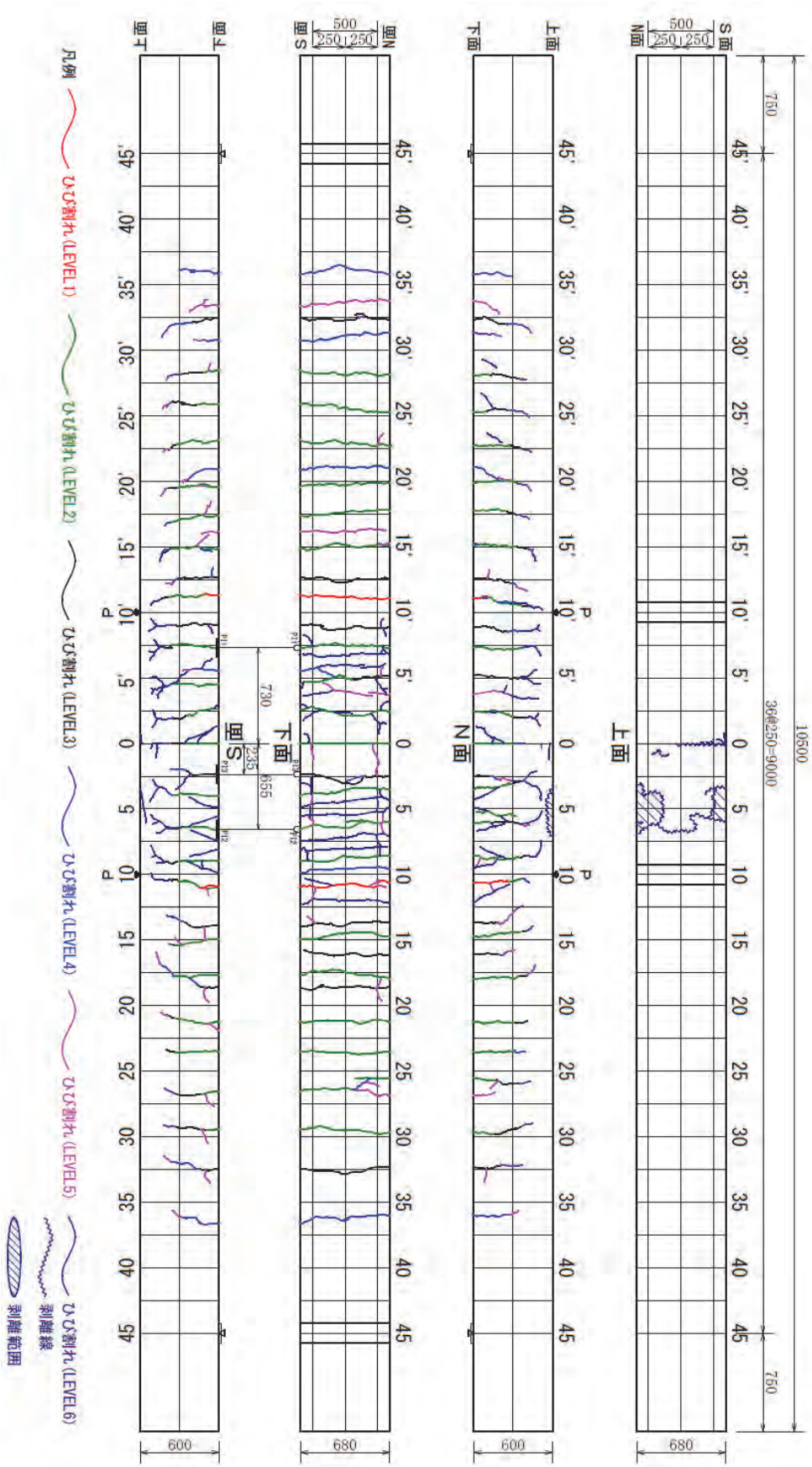
参考　図 5-18　試験体 No.17：中型試験体、鉄筋中心間隔 160mm、T2（ねじ節）



参考　図 5-19　試験体 No.18：大型試験体、継手なし（竹節）



参考　図 5-20　試験体 No.19：大型試験体、G1（竹節）



参考　図 5-21　試験体 No.20：大型試験体、T1（ねじ節）

参考資料６　機械式継手部の解体調査

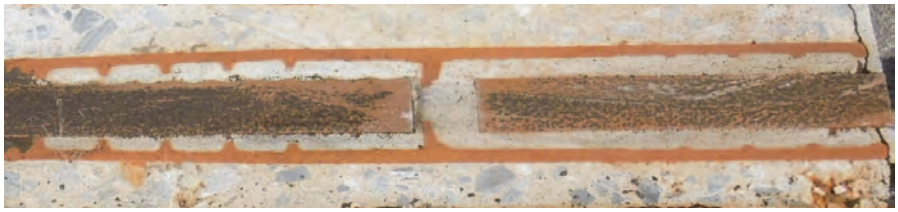
曲げ載荷実験の終了後、試験体 No.9、13、14、17 の機械式継手を含む部位を切断し、鉄筋の抜け出し状況、機械式継手のグラウトや機械式継手部周辺のコンクリートの充填状況を目視で観察した。機械式継手部の切断状況を**参考　図 6-1** に示す。

a)　機械式継手部の切り出し後の状況

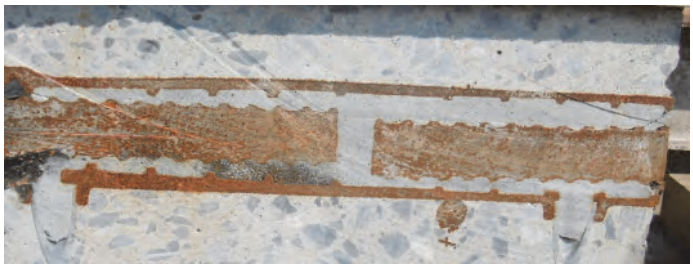
b)　切断状況の例

参考　図 6-1　機械式継手部の切断状況

機械式継手の切断面の状況を**参考　図 6-2** に示す。なお、機械式継手と鉄筋のさびは、切断後に生じたものである。いずれの機械式継手も、鉄筋の抜け出しは認められず、スリーブやカプラーの内部のグラウト（G1、G2：モルタル、T1、T2：エポキシ樹脂）の充填状況は良好であり、ボイドなどの変状は確認されなかった。また、周囲のコンクリートの充填状況にも特に問題はなかった。

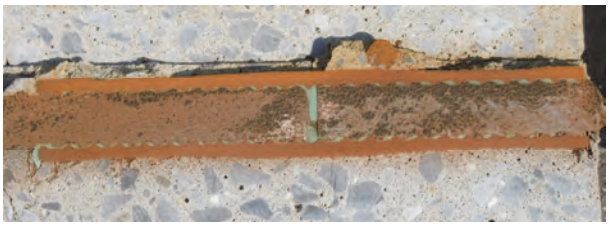


a)　No.9：G1、外径 63mm、長さ 415mm



b)　No.13：G2、外径 60mm、長さ 350mm

c)　No.14：T1、外径 47.4mm、長さ 168mm



d)　No.17：T2、外径 48mm、長さ 308mm

参考　図 6-2　切断面の状況

共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No.519 July 2020

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課

〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754