

ひび割れ損傷の生じたコンクリート部材の性能に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：石田雅博，和田圭仙

【要旨】

近年、一部のプレストレストコンクリート（PC）桁端部のウェブに、アルカリ骨材反応等に起因すると考えられる水平ひび割れが発生している事例¹⁾²⁾が報告されており、せん断耐力の低下要因になることが懸念される。ひび割れの発生したコンクリート部材の耐荷性能評価には、ひび割れ程度の影響評価が重要となるが、確立した評価手法はない。そこで本研究では、PC 桁端部の水平ひび割れがせん断耐力に与える影響評価を目的として、桁端部のウェブ中心に模擬水平ひび割れ（以下、模擬ひび割れ）を導入した矩形断面供試体 3 体、中空断面供試体 1 体および、各々ひび割れの無い基準供試体を 1 体ずつ作成し、載荷実験を実施した。本研究の結果、水平ひび割れ長さの違いが、破壊形態・耐荷性能に与える影響を確認できた。

キーワード：模擬水平ひび割れ、載荷実験、せん断耐力、耐荷性能

1. はじめに

近年、一部のプレストレストコンクリート（PC）桁端部のウェブに、アルカリ骨材反応等に起因すると考えられる水平ひび割れが発生している（図-1.1）事例¹⁾²⁾が報告されており、せん断耐力の低下要因になることが懸念される。ひび割れの発生したコンクリート部材の耐荷性能評価には、ひび割れ程度の影響評価が重要となるが、確立した評価手法はない。そこで本研究では、PC 桁端部の水平ひび割れがせん断耐力に与える影響評価を目的として、桁端部のウェブ中心に模擬ひび割れを導入した矩形断面供試体 3 体、中空断面供試体 1 体および、各々ひび割れの無い基準供試体を 1 体ずつ作成し、載荷実験を実施した。この実験により、桁端部のウェブの水平ひび割れがせん断耐力に与える影響を考察し、将来的には、同様の損傷が生じた既設橋梁の耐荷性能評価に資する資料を提示することを目的としている。



図-1.1 ウェブ水平ひび割れの事例

2. 実験の概要

供試体は、表-2.1、図-2.1 に示すとおり、矩形断面 4 体（No. 1, No. 2, No. 3, No. 4）、中空断面 2 体（No. 5, No. 6）である。この 6 体の違いは模擬ひび割れの長さや断面形状である。

既往の研究¹⁾²⁾においては、桁端部のウェブ中心に発生したひび割れ深さがスターラップに達していないものの、桁全長にひび割れが発生している事例が報告されている。本研究における模擬ひび割れは、極端に損傷が進展した状況を想定して貫通ひび割れとした。模擬ひび割れ長さは、支点と載荷点を結ぶラインまでの 1050mm（No. 2, No. 6）、載荷点直下までの 1800mm（No. 3）、中間の 1400mm（No. 4）である。模擬ひび割れは、図-2.2 のとおり、コンクリート面の摩擦を低減させるため、供試体打設時に厚さ 0.1mm のテフロンシートを 2 枚重ねたものを設置する方法で導入している。

供試体の断面寸法は、実績の多い支間長におけるウェブ厚を想定し、せん断破壊を先行させるように配筋量と高さを調整した。なお、自重で全圧縮状態となるように、中立軸配置した 4 本の PC 鋼材（φ9.3）を緊張し、微小なプレストレス（0.1N/mm² 程度）を導入している。下縁鋼材は曲げ耐力向上のために配置しており、無緊張である。

載荷実験は、土木研究所所有の載荷試験機（最大荷重 1500kN）で行った。載荷方法は、単純 2 点載荷による単調載荷である。図-2.3 は、載荷試験機に供試体を据付けた状況である。

表-2.1 供試体概要

供試体 No	断面形状	供試体寸法						模擬ひび割れ長さ (mm)	引張鉄筋比 Pt (%)	せん断補強鉄筋比 r (%)
		有効高さ d (mm)	荷重スパン l (mm)	せん断スパン比 a/d	供試体長さ L (mm)	供試体高さ H (mm)	ウェブ幅 b (mm)			
No.1	矩形	561	4000	2.67	4600	600	300	0	0.39	0.11
No.2	矩形	561	4000	2.67	4600	600	300	1050	0.39	0.11
No.3	矩形	561	4000	2.67	4600	600	300	1800	0.39	0.11
No.4	矩形	561	4000	2.67	4600	600	300	1400	0.39	0.11
No.5	中空	550	4000	2.73	4600	600	200	0	1.23	0.16
No.6	中空	550	4000	2.73	4600	600	200	1050	1.23	0.16

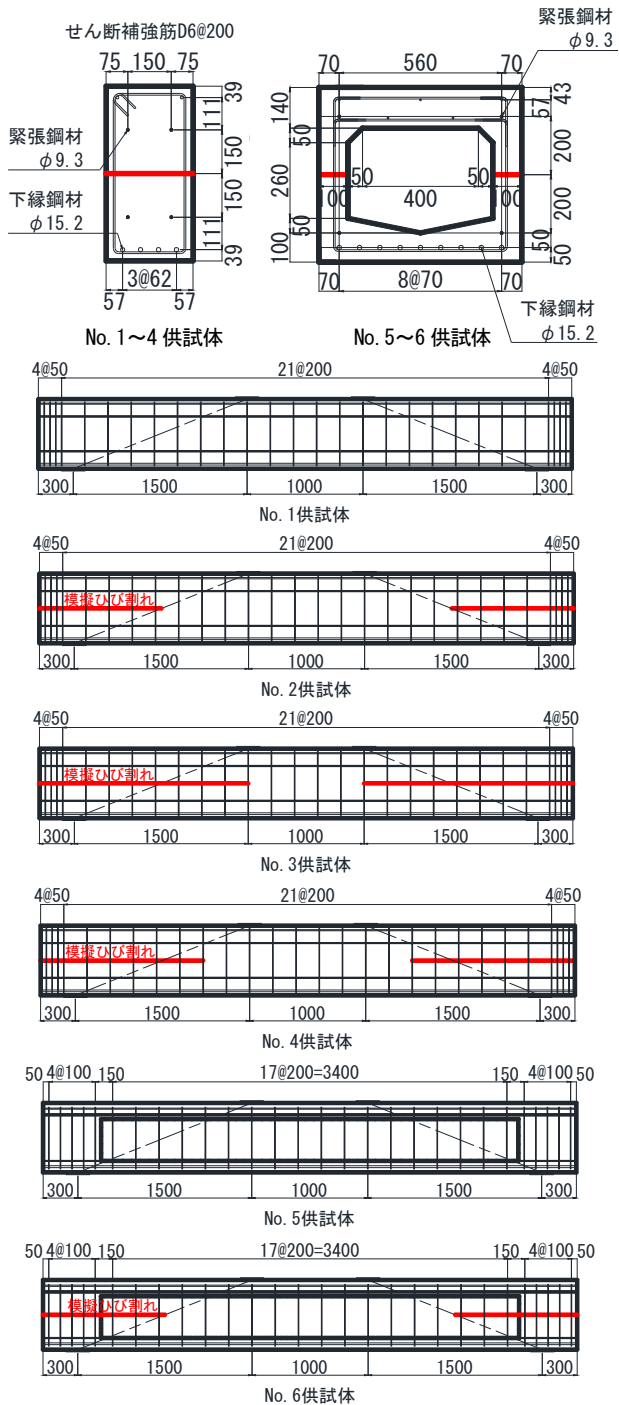


図-2.1 供試体概要図



図-2.2 模擬ひび割れ導入状況



図-2.3 荷重試験機（供試体据付け状況）

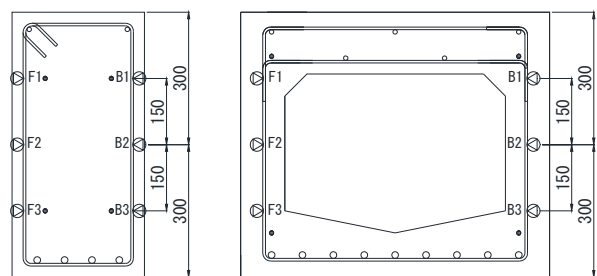


図-2.4 スターラップのひずみ計測位置

荷重実験時の計測は、荷重ステップ毎のひび割れ図のスケッチの他、荷重荷重、鉛直変位、水平変位、模擬ひび割れ幅（ π ゲージ）、PC鋼材のひずみ、スターラップのひずみ（図-2.4）、コンクリート表面の3軸ひずみについて、計測機器を設置することで連続的に計測した。

3. 実験の結果

載荷実験結果を表-3.1に、実験で得られた載荷荷重と供試体中央下面の変位との履歴曲線を図-3.1, 図-3.2に示す。基準供試体 (No. 1, 5) に対する模擬ひび割れ供試体の最大荷重は、矩形断面のNo. 2で1.12倍、No. 4で0.69倍、No. 3で0.59倍、中空断面のNo. 6で0.77倍であった。また、いずれも道示Ⅲ³⁾によるせん断耐力を上回ることを確認した。

コンクリート表面のひずみ計測結果より描画した主応力図 (No. 1, 2, 5, 6) を図-3.3, 終局時のひび割れ図および写真を図-3.4に示す。グレーの着色部は終局時の破壊状態および主応力図から想定される圧縮域を示す。

図-3.3からは、模擬ひび割れ長さが等しいNo. 2とNo. 6の圧縮域を比較すると、中空断面であるNo. 6の方が、基準供試体との違いが大きいことが分かる。

図-3.4に示すように、矩形断面の終局時の状況として、No. 1は載荷点付近 (測点-7~-5) におけるウェブ上縁側の圧壊による荷重低下、No. 2は模擬ひび割れ先端付近 (測点+13) の圧壊と同時に、同箇所の上側に新たに発生したせん断ひび割れによる荷重低下、No. 3は重ね梁的な曲げ挙動を示し徐々に荷重低下、No. 4は載荷点付近 (測点-7) および模擬ひび割れ先端付近 (測点-9) の圧壊による荷重低下が見られた。中空断面の終局時の状況として、No. 5は最大荷重直前に支点付近 (測点-21) からのせん断ひび割れが発生、測点-7~-15間に発生していたせん断ひび割れの幅の拡大および載荷点付近 (測点-7) の圧壊による荷重低下、No. 6は模擬ひび割れ先端付近 (測点-13) の圧壊による荷重低下が見られた。また、スターラップの降伏位置 (青丸部) に着目すると、模擬ひび割れ供試体は、基準供試体に比べて多くの本数のスターラップがせん断力を負担したものと考えられるが、基準供試体と耐力が同等以上となったのは、No. 2のみである。

模擬ひび割れ先端付近の圧壊が見られたNo. 4, 6は、基準供試体 (No. 1, 5) のひび割れ図から想定される圧縮域に模擬ひび割れの先端付近が干渉することで、耐荷機構が変化し、基準供試体に比べてせん断耐力が減少したものと考えられる。これに対して基準供試体 (No. 1) 以上のせん断耐力を示したNo. 2は、模擬ひび割れが前述の圧縮域に干渉するものの、コンクリート強度の違い、既往の研究⁴⁾で示された水平ひび割れによるアーチ的な耐荷機構の発現等の要因によりせん断耐力が増大したものと考えられる。本研究と文献⁴⁾とは、ひび割れの導入方法や位置、圧縮鉄筋の有無等の条件が異なるが、No. 2では終局直前まで模擬ひび割れ面のずれがほとんど生じず、支点と載荷点を結ぶアーチが形成されたものと考えられる。

表-3.1 載荷実験結果

供試体 No	断面形状	コンクリート圧縮強度 $f_c(N/mm^2)$	最大荷重 $P_{max}(kN)$	破壊形態
No.1	矩形	51.7	656	せん断圧縮破壊
No.2	矩形	54.4	735	せん断圧縮破壊
No.3	矩形	56.0	386	曲げ破壊
No.4	矩形	57.4	456	せん断圧縮破壊
No.5	中空	65.8	968	せん断圧縮破壊
No.6	中空	69.5	743	せん断圧縮破壊

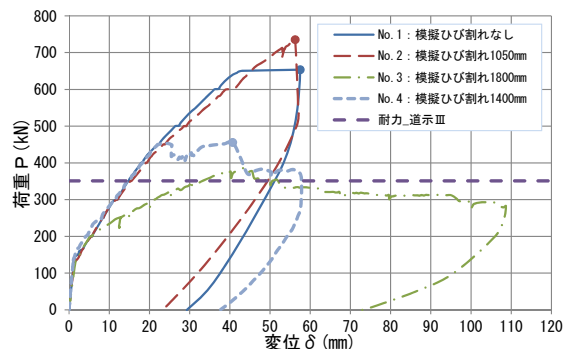


図-3.1 荷重-変位曲線 (No. 1~4)

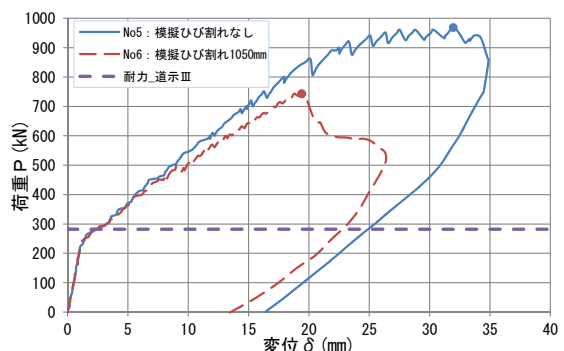


図-3.2 荷重-変位曲線 (No. 5~6)

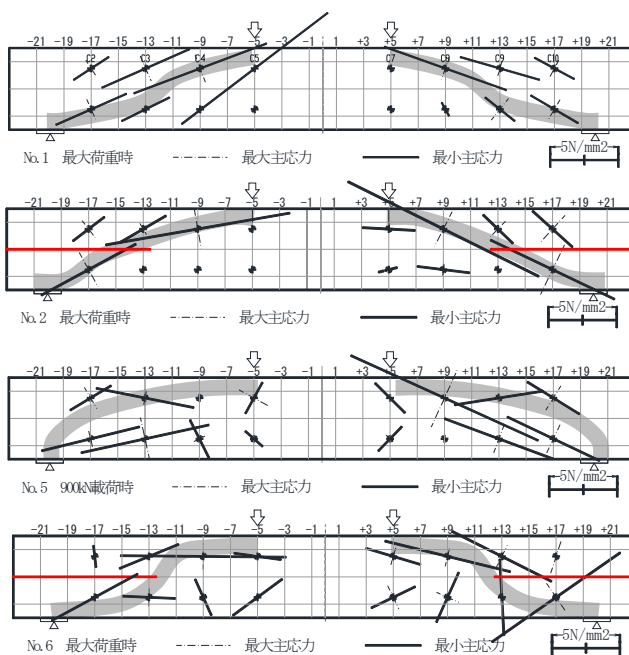


図-3.3 主応力図 (No. 1, 2, 5, 6) ■ : 想定圧縮域

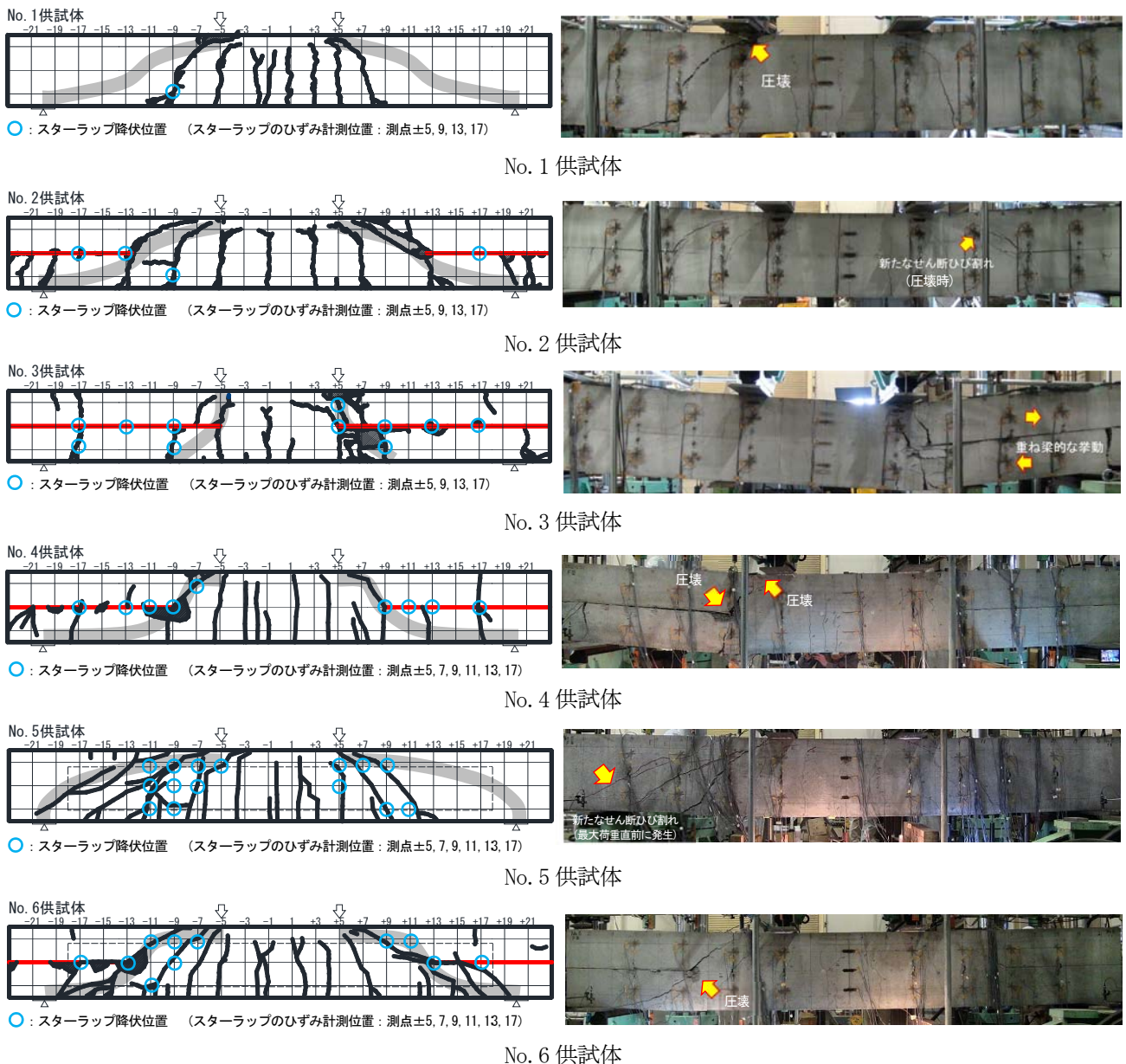


図-3.4 終局時のひび割れ図・写真 (■：想定圧縮域 □：圧壊域 数字：測点番号)

4. まとめ

本研究の結果、コンクリート桁端部の水平ひび割れ長さの違いが、耐荷性能に与える影響について確認できた。水平ひび割れが、健全な桁における圧縮域の外側、外観で少なくとも最外縁に発生するせん断ひび割れよりも桁端側で止まっている場合、せん断耐力は健全な桁に比べて同等以上となる可能性がある。しかし、模擬ひび割れ供試体4体のうち、基準供試体と比べてせん断耐力が同等以上となった供試体は1体のみであるため、検証が必要である。今後は、非線形FEM解析を用いた分析等により、桁端部の水平ひび割れ程度と耐荷機構の発現等の要因を検証する予定である。

参考文献

- 1) 関慎一郎, 木村嘉富, 花井拓, 中島道浩: 軸方向ひび割れの発生したプレストレストコンクリート橋の調査 (その1), 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, 2012.9
- 2) 中島道浩, 木村嘉富, 花井拓, 富岡昭浩: 軸方向ひび割れの発生したプレストレストコンクリート橋の調査 (その2), 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, 2012.9
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III. コンクリート橋編 2012.3
- 4) 田中泰司, 岸利治, 前川宏一: 人工亀裂を有するRC部材のせん断耐力増進機構の実験的検討, 土木学会論文集 No. 802, V-69, p109-122, 2005.11

STUDY ON PERFORMANCE OF CONCRETE MEMBER OF CRACKING DAMAGE

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Bridge and Structural Engineering Research Group

Author : Masahiro ISHIDA

Yoshinori WADA

Abstract : In recent years, horizontal crack occurring in the digit end web of prestressed concrete has been reported. It is presumed to be due to alkali-aggregate reaction and the like. In addition, it is feared to be a lowering factor of shear capacity. Nevertheless, there is no established method to evaluate Load-carrying capacity of the cracked concrete member. For that reason, aims to evaluating the effect of horizontal cracks on the shear strength, we ran the loading tests using test pieces which simulated horizontal cracks in the web center of the girder end. Results of study, we confirmed the effect of horizontal crack length on fracture morphology and load performance.

Key words : Simulated horizontal cracks, Loading tests, Shear capacity, Load-carrying capacity