

## 戦-16 液状化に対する新しい基礎構造に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 19～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ(土質・振動)、橋梁構造研究グループ

研究担当者：佐々木哲也，谷本俊輔，中谷昌一，白戸真大，河野哲也

### 【要旨】

地震時に十分な地盤反力を期待できない液状化地盤においては、基礎の規模が大きくなる傾向があることから、新しい基礎構造によるコストの縮減が求められている。本研究では、液状化に対する新しい基礎構造として、杭基礎の新しい杭頭結合方式および固化改良地盤に支持される基礎を対象としている。21年度は、基礎から荷重を受けるセメント改良土の許容応力度を設定することを目的とし、セメント改良土の材料特性を調べるための土質試験を行った。その結果、繰返し圧縮応力に対する疲労特性を明らかにするとともに、一軸圧縮強さと割裂引張強さの関係、割裂破壊に及ぼす繰返し特性等を明らかにした。

キーワード：基礎，液状化，固化体，許容応力度，疲労特性

### 1. はじめに

地震時に十分な地盤反力を期待できない液状化地盤においては、杭本数、杭径や鉄筋量などの基礎の諸元が増加することから、新しい基礎構造によるコストの縮減が求められている。

近年、既設基礎の耐震補強や新設基礎のコスト縮減を目的として、軟弱粘土地盤や液状化の発生が懸念される地盤中の道路橋基礎に地盤改良を取り入れた新しい基礎形式の研究開発が多方面で行われており、一部実橋に採用された事例も報告されている。改良地盤といってもその詳細は多岐にわたるが、一部にはセメント等を混合させて地盤を固結させ、基礎の荷重を分担させるものがあり、人工的に形成された固化体を通常の地盤と同様に扱われるケースが見られるが、このような基礎・地盤改良の適用範囲や設計法が確立されていないのが現状である。例えば、改良範囲の設定法とその考え方、基礎の可逆的な復元力特性を得るための固化体の許容応力度の設定方法、大地震により固化体に内部破壊が生じた後の残存耐力特性、改良率や各ソイルセメント柱のラップの有無・度合いによる支持機構の違いやそれを考慮した設計計算法など、構造物基礎に適用するにあたって検討すべき項目が多く残されている。

本年度は、セメント改良土の構造物基礎への適用条件を明確にすることを目的とし、固化体の繰返し載荷試験を通して、セメント改良土の強度低下特性を考慮した許

容応力度の設定方法を検討した。

### 2. 固化体を受ける荷重と実験条件

まず、固化改良地盤が支持する対象として、代表的な基礎形式である直接基礎と杭基礎を想定することとし、この場合に固化体がどのような荷重を分担するかについて考える。

直接基礎を支持する固化改良地盤は、主として鉛直方向の圧縮応力を受ける。特に、道路橋を支持する場合を考えると、その構造特性から、供用期間中に数百万回にわたる交通荷重を繰返し受けるとともに、地震等によって基礎が繰返し転倒モーメントを受け、これによってフーチング端部の直下に位置する固化体が鉛直方向の繰返し圧縮応力を受ける。したがって、固化改良地盤に直接基礎を支持させる場合、繰返し圧縮応力に対する強度低下に配慮した上でその強度を設定する必要がある。このため、セメント改良土の繰返し一軸圧縮試験によって繰返し圧縮応力に対する強度低下特性を調べ、許容圧縮応力度について検討した。ここで、繰返し特性を一軸応力条件下(無拘束状態)で調べたのは、直接基礎を支持する固化体において、最も厳しい応力状態にあるのは上面付近であり、この位置での固化体の挙動を把握して設計に反映させることで、固化体の強度を安全側に設定することができる考えたためである。

また、杭基礎を支持する接円式固化改良地盤を考えると、地震等による杭からの水平力を受けたとき、円柱状

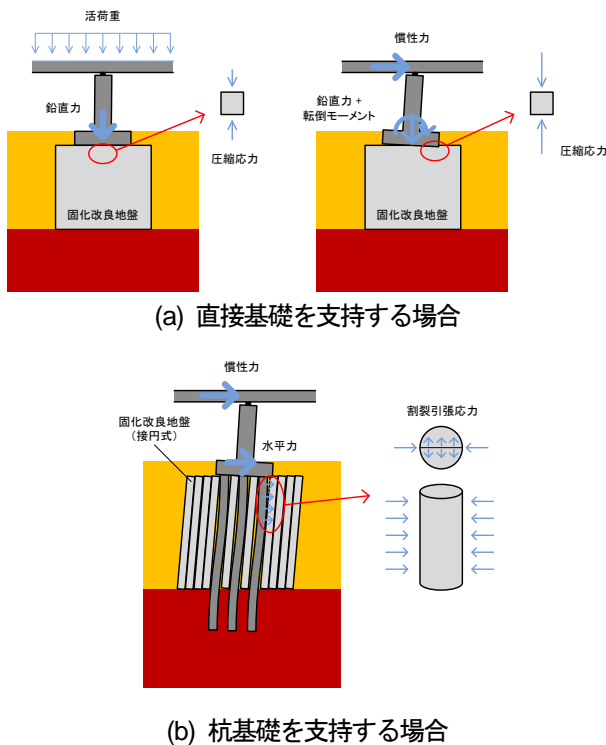


図-1 基礎からの荷重を受ける固化改良地盤の模式図

の固化杭を割裂破壊させるような荷重が作用する。地震時には固化杭がこの作用を繰返し受けることから、セメント改良土の繰返し割裂引張試験を行い、許容割裂強度について検討した。

平成20年度は、セメント改良された砂質土（東北硅砂7号）について、気中状態での繰返し一軸圧縮試験（SA-C シリーズ）を実施し、固化体は繰返し荷重を受けて強度低下することを明らかにした<sup>1)</sup>。この結果に基づき、道路橋の直接基礎を支持する場合を例として、供用期間中に作用する繰返し荷重を考慮した上で疲労特性に基づいて固化体の許容圧縮応力度を設定する方法を提案している。

これに引き続き今年度は、セメント改良された粘性土（カオリン ASP-100）について、気中にて繰返し一軸圧縮試験を行う一連の実験（CA-C シリーズ）と、セメント改良された砂質土（東北硅砂7号）について、飽和条件下で繰返し一軸圧縮試験を行う一連の実験（SW-C シリーズ）を実施した。また、図-1(b)のような状況を想定し、セメント改良された粘性土（カオリン ASP-100）について、気中にて繰返し割裂試験を行う一連の実験（CA-E シリーズ）を行った。実験の流れを図-2 に示す。まず、作製された供試体の一軸圧縮強度あるいは割裂引張強度を単調荷重によって確認し、この強度を基準として数パターンの応力比（繰返し応力 / 単調荷重時の強度）を設定し、繰返し試験を行った。

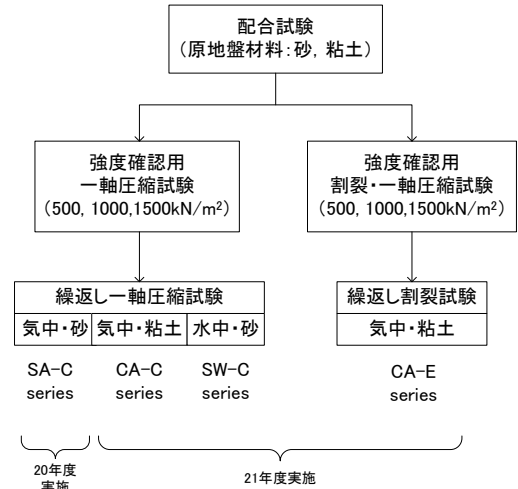


図-2 実験フロー

### 3. 固化体の許容圧縮応力度に関する実験

#### 3.1 実験方法

前章に示したように、繰返し圧縮特性を調べる試験は CA-C および SW-C シリーズについて行っており、いずれのシリーズについても、単調荷重によって一軸圧縮強度  $q_u$  を確認する試験と、繰返し一軸圧縮応力  $q$  を与える試験の2段階から構成されている。

繰返し一軸圧縮試験のケースを表-1 および表-2 に示す。供試体の目標一軸圧縮強度  $q_u$  はいずれのシリーズも 500, 1000, 1500kN/m<sup>2</sup> の3パターンとし、2週間の養生によって所定の  $q_u$  となるように原地盤材料（砂質土または粘性土）・水・セメントを配合した。事前配合試験を行った結果、目標強度  $q_u$  を得るためのセメント量は、原地盤材料の乾燥重量に対して砂質土の場合でそれぞれ 7, 10, 12%, 粘性土の場合で 50, 65, 75%であった。これらを攪拌混合してモールドに充填した後、モールドを湿ったウェスで覆い、23℃の恒温室内で2週間程度湿潤養生させることにより供試体を作製した。

供試体を試験機に設置する際には、ベッディングエラーを軽減するための石膏キャッピングを供試体上面に施した。なお、SW-C シリーズでは、繰返し一軸試験前にキャッピングして8時間以上経過した後、供試体を脱気水層に入れ、供試体の一軸圧縮強度に応じた真空圧を作用させてさらに8時間以上脱気し、飽和させた。測定した B 値は0.83~1.0であった。

試験には三軸圧縮試験装置を用い、CA-C シリーズについては気中で、SW-C シリーズについては側圧を与えずに水中（非排水条件）で載荷を行った。一軸圧縮試験における載荷速度は0.4mm/minとした。繰返し一軸圧縮

表-1 実験条件 (CA-C シリーズ)

No.	破壊 有無	材令 [日]	セメント 添加率[%]	応力比 S (S')	一軸圧縮 強度	目標一軸 圧縮強度
					$q_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{ut}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1-4	○	14	50	1.227 (0.888)	449	500
1-5	○	14		1.479 (0.989)	449	
1-12	●	14		1.034	463	
1-13	●	14		1.012	463	
1-11	●	14		1.089	463	
2-4	▲	14	65	0.985	933	1000
2-5	△	14		1.179 (0.888)	933	
2-10	▲	14		0.945	945	
2-11	△	14		1.164 (0.923)	945	
2-12	▲	14		0.973	945	
3-6	■	14	75	0.953	1389	1500
3-7	■	14		1.005	1389	
3-11	■	14		0.978	1443	
3-12	■	14		0.932	1443	
3-14	□	14		1.137 (0.91)	1443	

※●▲■・・・供試体破壊、○△□・・・供試体の破壊なし

表-2 実験条件 (SW-C シリーズ)

No.	破壊 有無	材令 [日]	セメント 添加率[%]	応力比 S (S')	一軸圧縮 強度	目標一軸 圧縮強度
					$q_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{ut}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1-10	○	14	7	1.056 (0.671)	498	500
1-17	○	14		1.093 (0.721)	539	
1-11	●	14		0.768	498	
1-6	●	14		0.799	633	
1-5	●	14		0.845	633	
2-4	▲	14	10	0.763	1237	1000
2-12	▲	14		0.788	1197	
2-11	▲	14		0.799	1197	
2-15	▲	14		0.811	899	
2-18	▲	14		0.816	899	
3-16	■	14	12	0.721	1560	1500
3-10	■	14		0.763	1793	
3-3	■	14		0.812	1400	
3-4	■	14		0.832	1400	
3-13	■	14		0.854	1793	

※●▲■・・・供試体破壊、○△□・・・供試体の破壊なし

試験においては、1Hzの正弦波により供試体が破壊するまで荷重を続けた。以降、一軸圧縮強度 $q_u$ と繰返し軸応力 $q$ の比を応力比 $S(=q/q_u)$ と呼ぶ。一軸圧縮強度 $q_u$ は、1段階目の一軸圧縮試験で得られた3供試体の一軸圧縮強度の平均値である。繰返し軸応力 $q$ の最大値は応力比 $S$ が所定の値となるように設定し、最小値は供試体上面と荷重板の接触が常に持続するように供試体の一軸圧縮強度の1割程度とした。一軸圧縮試験における計測項目は、軸応力、外部変位計、局所変位計(LDT)の3点である。応力比 $S$ は、試験装置の能力の関係上、数十回から数千回で固化体が破壊することを想定し、0.9を中心に増減させることで設定した。ただし、表-1および表-2の白抜き部のように、多くの繰返し軸応力を与えても破壊に至らない供試体も存在したため、1万回程度で試験を終了した。それらについては繰返し荷重後に単調荷重を行い、一軸圧縮強度を調べた。なお、表-1および表-2に

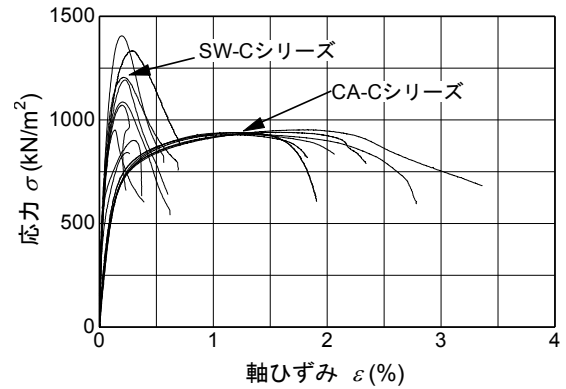


図-3 応力・ひずみ関係

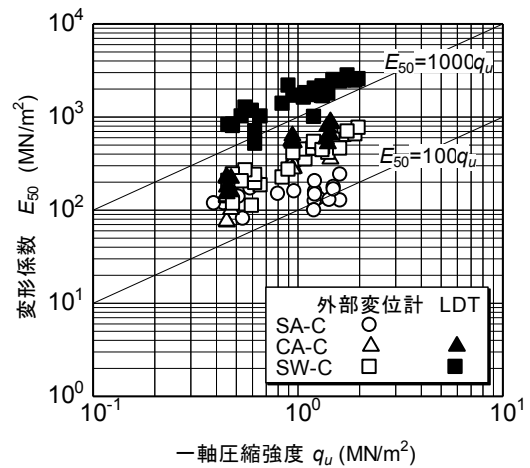


図-4 一軸圧縮強度と変形係数の関係

は当初想定した応力比 $S$ に加え、繰返し荷重後の一軸圧縮強度 $q_u'$ を用いて算出した応力比 $S'(=q/q_u')$ を( )内に示している。

### 3.2 一軸圧縮試験

1段階目に行われた一軸圧縮試験の結果の一部を図-3に示す。これは、SW-Cシリーズ、CA-Cシリーズのうち、 $q_{ut} = 1,000 \text{ kN/m}^2$ としたケースに関する応力・ひずみ関係である。原地盤材料が砂質土の場合は破壊ひずみが0.5%程度であるのに対し、粘性土の場合は1%以上であり、破壊に至るまでの変形特性に明瞭な差が見られる。

一軸圧縮強度の変動係数を算出すると、砂質土の場合が12~16%であるのに対し、粘性土の場合は1~2%であった。砂質土の場合、セメントと混合させる際にブリーディング(材料分離)も見られ、均質な供試体を作製することが難しいためであると考えられる。

SA-Cシリーズも含め、全ケースで一軸圧縮強度と変形係数の関係を図-4に示す。SA-Cシリーズのものは、やや他のシリーズに比べて下方に位置するが、外部ひずみ計によるものは概ね $E_{50} = 100 \sim 500 q_u$ の範囲にあり、

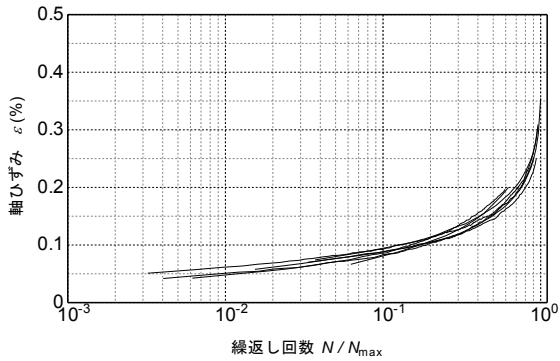


図-5 軸ひずみと繰返し回数の関係 (CA-C シリーズ)

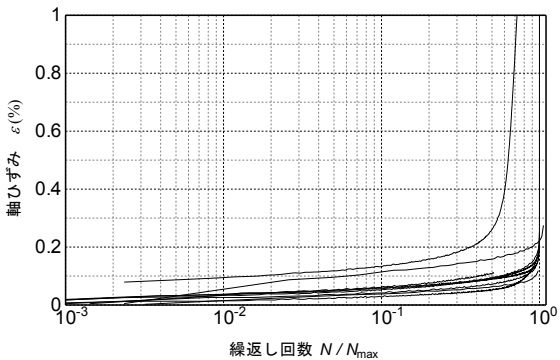


図-6 軸ひずみと繰返し回数の関係 (SW-C シリーズ)

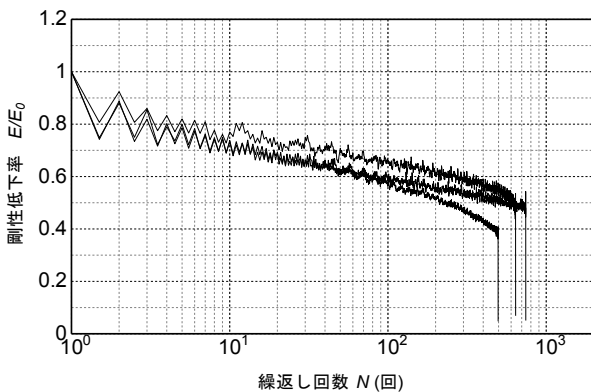


図-7 剛性低下率と繰返し回数の関係 (CA(C)シリーズ)

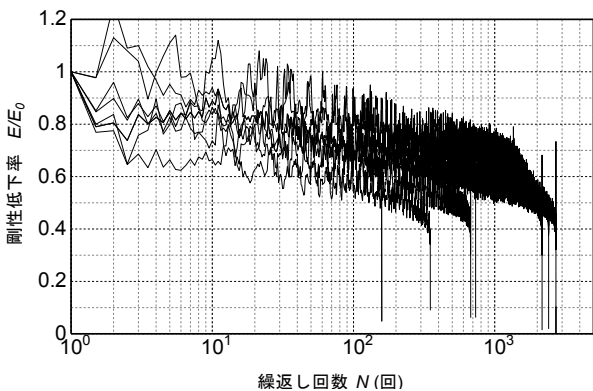


図-8 剛性低下率と繰返し回数の関係 (SW-C シリーズ)

LDT によるものは通常の外部変位計によるものに比べて数倍大きい. 外部変位計による計測値に誤差が含まれ,

ひずみを過大評価しているためであると考えられることから, 以降では, LDT による計測値を用いてデータ整理を行うこととした.

### 3.3 繰返し一軸圧縮試験

CA-C, SW-C シリーズにおいて LDT で計測された軸ひずみの時刻歴から, 各サイクルの軸応力の最大時における値のみを抽出して整理したものが図-5, 図-6 である. いずれのシリーズにおいても, 繰返し回数が進むにつれて増加し, 破壊直前の状態になるとひずみが急増することが分かる. ただし, 原地盤材料を粘性土とした場合の方が, ひずみの増加が緩やかである.

ここで, 軸応力最大時における軸ひずみを  $\epsilon_p$ , 軸応力最小時における軸ひずみを  $\epsilon_t$  とすると, 軸応力の最大・最小値の差分を  $(\epsilon_p - \epsilon_t)$  で除すことで, 図-7 および図-8 のような各サイクルにおける割線剛性の推移を求めることができる. 同図は LDT により破壊の直前までひずみが計測できた供試体のみに関するデータであるが, これによると, 破壊に至るまで徐々に剛性が低下すること, 剛性低下率が 0.4~0.6 程度にまで低下した時点で破壊に至ることが分かる. この傾向は 20 年度に実施した SA-C シリーズと同様である.

図-9, 図-10 は, それぞれ CA-C シリーズ, SW-C シリーズにおける応力比  $S$  と破壊時の繰返し回数  $N$  の関係を示したものである. いくつかの供試体は 1 万回程度の繰返し応力によって破壊に至らなかったが, この供試体については繰返し後に一軸圧縮試験を実施しており, これを応力比の分母として整理した. 供試体が実際には破壊に至らなかったケースも含め, 本実験で得られた応力比  $S$  と繰返し回数  $N$  の関係を直線近似した結果は式(1)及び(2)のとおりであった.

$$S = 1.09 - 0.020 \log N \quad (\text{CA-C シリーズ}) \quad (1)$$

$$S = 0.84 - 0.011 \log N \quad (\text{SW-C シリーズ}) \quad (2)$$

次に, 原地盤材料を砂質土とし, 気中で繰返し一軸圧縮試験を行った SA-C シリーズも含め, 得られた平均的な疲労強度の回帰直線を図-11 に比較する. 同図には, 寺師ら<sup>2)</sup>により得られた疲労曲線もプロットしており, この実験は, 原地盤材料を川崎粘土とし, 目標一軸圧縮強度  $q_u = 500 \sim 1,100 \text{ kN/m}^2$  程度のセメント改良土に対して, 有効側圧  $200 \text{ kN/m}^2$  の非排水条件下で 0.25Hz ないしは 0.5Hz の正弦波による繰返し圧縮応力が与えられたものであり, 応力比  $S$  は一軸圧縮強度  $q_u$  に対する軸差応力  $q$  の比として定義されている.

全てのデータについて, 疲労曲線は右下がりであり, 圧縮応力の繰返し作用によって強度が低下する傾向が見

て取れる。原地盤材料を砂質土とし、気中で試験を行った SA-C シリーズと水中で試験を行った SW-C シリーズを比較すると、試験における繰返し回数が 10,000 回程度以下であったことを踏まえれば、飽和条件下で行われた SW-C シリーズの方が疲労強度が小さくなっていると見ることができる。一方、原地盤材料を粘性土とした CA-C シリーズについては、寺師らの実験結果と比べて疲労強度が大きい。両者の実験条件には、原地盤材料の種類や载荷中の側圧の有無、供試体の含水状態、排水条件、载荷速度など、多くの違いがあるが、コンクリートにおいても、水中と気中では疲労強度が大きく異なることも知られており<sup>3)4)5)</sup>、このことが一つの大きな影響要因となったことが考えられる。水中での繰返し応力により強度低下が進みやすいことの原因としては、微細なクラックの開閉時に間隙水圧が変動してクラックを進展させること、クラックからのセメント分の流出などが挙げられる。一般に、地下水位が高く、軟弱な地盤において深層混合

処理等による固化改良が行われることから、水中での繰返し载荷試験によって疲労特性を調べ、これに基づいて許容応力度を設定することが必要であると考えられる。

#### 4. 固化体の許容割裂強度に関する実験

##### 4.1 実験方法

許容割裂強度を調べる実験は、単調载荷によって一軸圧縮強度を調べる試験、単調载荷によって割裂強度を調べる試験、繰返し载荷によって割裂強度を調べる実験の3段階から構成されている。

繰返し割裂試験のケースを表-3に示す。供試体の目標一軸圧縮強度  $q_u$  はいずれのシリーズも 500, 1000, 1500kN/m<sup>2</sup> の3パターンとし、2週間の養生によって所定の  $q_u$  となるようにカオリン粘土・水・セメントを配合した。配合条件および供試体の作製方法は3.1節に示したとおりである。

試験には三軸圧縮試験装置を用い、直径50mm、長さ50mmの円筒供試体を図-12のように試験機に設置した。単調载荷による割裂試験における载荷速度は0.2mm/min。

表-3 実験条件 (CA-E シリーズ)

No.	破壊 有無	材令 [日]	セメント 添加率[%]	応力比 S(S)	割裂引張強度 $\sigma_c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	割裂引張強度 $\sigma_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	一軸圧縮強度 $q_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
							実測値	目標値
1-4	●	14		0.903	132	146	456	
1-5	●	14		0.759	111	146	456	
1-6	○	14		0.595 (1.130)	87 (165)	146	456	
1-10	○	14		0.817 (1.286)	97 (153)	119	456	
1-11	○	14		0.986 (1.345)	117 (160)	119	456	
2-4	▲	14		0.777	187	241	939	
2-5	▲	14		0.849	205	241	939	
2-6	▲	14		0.753	181	241	939	
2-10	△	14		0.709 (1.186)	160 (268)	226	939	
2-11	△	14		0.779 (1.239)	176 (280)	226	939	
3-4	■	14		0.777	251	323	1416	
3-5	■	14		0.769	248	323	1416	
3-6	□	14		0.695 (1.065)	224 (344)	323	1416	
3-10	□	14		0.741 (1.119)	261 (394)	352	1416	
3-12	□	14		0.790 (1.222)	278 (430)	352	1416	

※●▲■... 供試体破壊, ○△□... 供試体の破壊なし

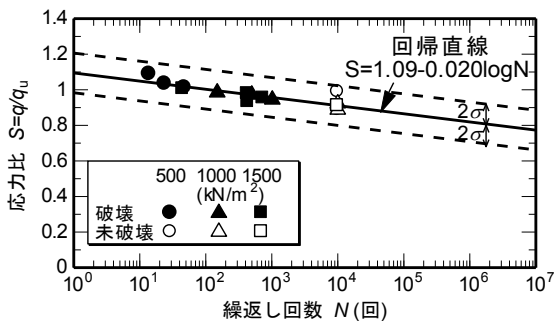


図-9 疲労強度と繰返し回数の関係 (CA-C シリーズ)

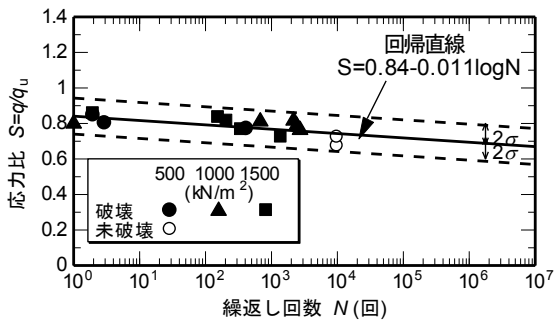


図-10 疲労強度と繰返し回数の関係 (SW-C シリーズ)

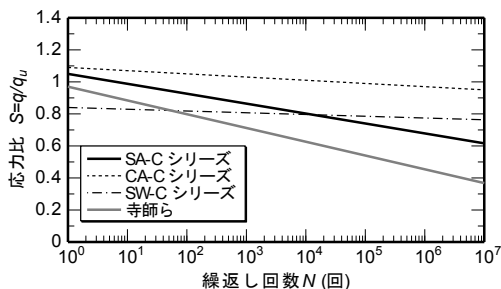


図-11 各実験シリーズにより得られた疲労曲線

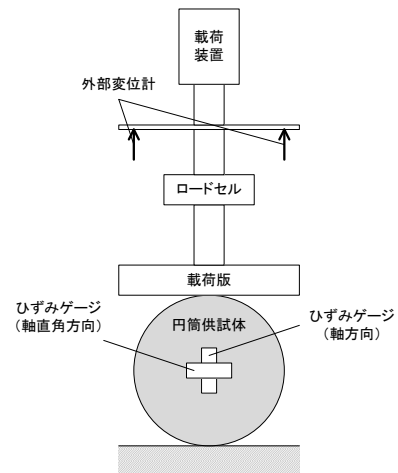


図-12 割裂試験の模式図

とした。繰返し割裂試験においては 1Hz の正弦波にて、供試体が破壊するまで荷重を続けた。

割裂試験では、供試体が破壊に達したときの荷重荷重  $P_t$  より、次式により割裂引張強度  $\sigma_t$  が求まる。

$$\sigma_t = \frac{2P_t}{\pi dl} \quad (3)$$

ここに、 $d$  は供試体の直径、 $l$  は供試体の長さである。以降、3 供試体に対し、単調荷重により供試体が破壊したときの荷重荷重の平均値  $P_t$  を割裂引張強度  $\sigma_t$ 、繰返し荷重時に与えた荷重荷重の最大値  $P$  を割裂引張応力  $\sigma$  に換算して表示することとし、 $\sigma$  と  $\sigma_t$  の比を応力比  $S$  と定義することとする。繰返し荷重時の荷重荷重の最小値は、供試体と荷重版の接触が常に持続するように  $\sigma_t$  の 1 割程度とした。応力比  $S$  は、試験装置の能力の関係上、数十回から数千回で固化体が破壊することを想定し、0.9 を中心に増減させることで設定した。ただし、表-3 の白抜き部のように、多くの繰返し軸応力を与えても破壊に至らない供試体も存在したため、1 万回程度で試験を終了した。それらはすべて繰返し荷重後に単調荷重を行った。同表には、このときに得られた供試体破壊時の割裂引張強度  $\sigma_t'$  を用いて算出した応力比  $S'$  ( $=\sigma / \sigma_t'$ ) を ( ) 内に示している。割裂試験における計測項目は、荷重荷重、外部変位計、クロスゲージ (軸方向、軸直角方向) の 4 点である。

#### 4.2 割裂引張強度と一軸圧縮強度の関係

同じバッチで作製された供試体について、一軸圧縮強度  $q_u$  と割裂引張強度  $\sigma_t$  の関係を求めると、表-4 に示すように  $\sigma_t/q_u=0.25$  程度であった。セメント改良された粘性土の割裂引張強度に関する既往のデータをみると、 $\sigma_t/q_u$  は寺師ら<sup>6)</sup>の実験で 0.15 (ただし  $q_u \leq 1,500 \text{ kN/m}^2$ )、佐々木ら<sup>7)</sup>の実験で 0.05~0.20、斎藤<sup>8)</sup>の実験で 0.09~0.13 であり、本実験で得られた割裂強度はやや大きめである。

#### 4.3 繰返し割裂強度特性

繰返し割裂試験により得られた  $S \cdot N$  関係を図-13 に示す。応力比  $S=0.759 \sim 1.286$  の範囲で繰返し割裂試験を行ったが、全ケースについて、1 回目の繰返しで破壊するか、10,000 回の繰返しによっても破壊しないかのいずれかの結果となった。この原因は次のとおりであると考えられる。

割裂試験は円筒供試体と荷重版が線接触した状態で荷重を行うものであるが、10,000 回の繰返しによっても破壊に至らなかった供試体について試験後の状況を確認すると、試験装置の荷重版に接する位置で供試体が局所的に変形し、供試体と荷重版が面的に接触していた。この

表-4 一軸圧縮強度と引張り強度の関係

一軸圧縮強度 $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )		割裂引張強度 $\sigma_t$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_t/q_u$
目標値	実測値	実測値	
500	456	133	0.29
1,000	939	234	0.25
1,500	1416	338	0.24

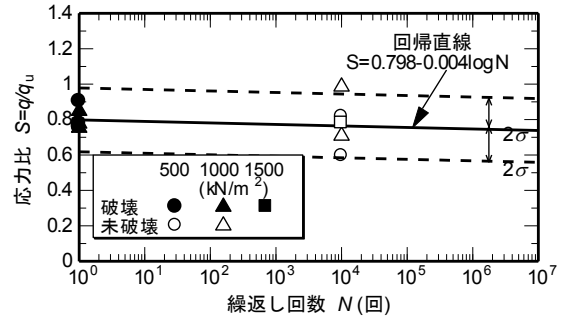


図-13 疲労強度と繰返し回数の関係

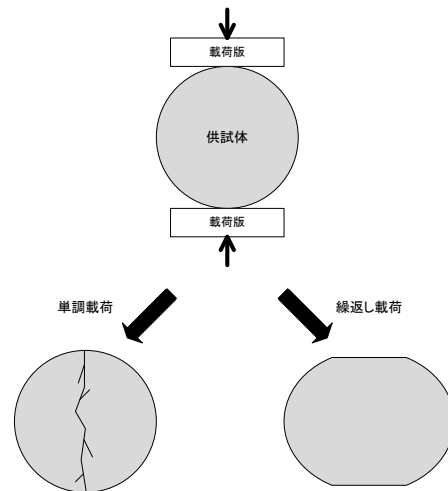


図-14 割裂試験後の供試体の状況

ため、一般に割裂試験で想定するような割裂引張応力が作用しなかったためである。このような供試体の変形は、セメント量の少ない供試体において特に顕著であった。

表-3 から分かるように、10,000 回の繰返しによって破壊しなかった供試体についてはその後単調荷重を行ったが、破壊が生じたときの軸荷重は、事前に行われた割裂試験におけるそれと比べて大きなものとなっていた。

今回の試験の範囲では、セメント改良土により形成された固化杭が図-1(b) に示すような荷重を基礎から繰返し受けるときについても同様に、繰返しにより強度低下を示すことは考えにくい。したがって、一定の余裕を加味した上で単調荷重時の割裂強度を許容割裂強度の指標とすることで、割裂破壊に対して所定の安全性が担保されることとなる。具体的に許容割裂強度をどのように設定するかについては、今後、既往の試験データも含



めて検討が必要である。

一方で、図-3からも推察されるように、セメント改良された砂質土の場合、破壊に至るまでに生じる変形が粘性土の場合に比べて小さいため、割裂を生じさせる荷重を繰返し与えることで割裂強度が低下する可能性も考えられる。これについても、今後の検討が必要である。

## 5. まとめ

セメント改良土の構造物基礎への適用条件を明確にすることを目的とし、セメント改良土の強度低下特性を考慮した許容応力度の設定方法を検討するため、固化改良地盤が直接基礎を支持する状況を想定した繰返し一軸圧縮試験、杭基礎を支持する状況を想定した繰返し割裂試験を行った。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) セメント改良された砂質土は、セメント改良された粘性土に比べてぜい性的であり、かつ材料分離の影響により強度のばらつきが大きい。
- (2) セメント改良された砂質土を飽和（非排水条件）させた状態で行った繰返し一軸圧縮実験、セメント改良された粘性土について気中で行った繰返し一軸圧縮試験のいずれについても、繰返し応力により強度が低下する傾向が確認された。また、強度低下の程度は、水中にて繰返し载荷を行うことで、より顕著となる傾向が見られた。一般に、地下水位が高く、軟弱な地盤において深層混合処理等による固化改良が行われることから、水中での繰返し载荷試験によって疲労特性を調べ、これに基づいて許容応力度を設定することが必要であると考えられる。
- (3) セメント改良された粘性土について繰返し割裂試験を行ったところ、得られた結果は全ケースについて、1回目の载荷で破壊するもの、多くの繰返しを与えても破壊しないもののいずれかであった。繰返しによって破壊しなかったものについては、円筒供試体と载荷版が接する位置での局所的な変形が生じたことが原因である。したがって、繰返しを続けても破壊に至ることはないと考えられ、単調割裂試験により得られた割裂強度を指標として許容割裂強度を設定することができると考えられる。一方、原地盤材料が砂質土である場合は破壊に至るまでに顕著な変形が生じないことから、同様の傾向となるかどうかは不明であり、今後の課題として残された。
- (4) 本実験の範囲では、単調割裂強度 $\sigma_c$ と一軸圧縮強度 $q_u$ の比は0.25程度であり、既往の試験結果に比べて大きい。今後、割裂強度に関する既往のデータを収集

し、割裂破壊に対する余裕しるをどのように確保するかについて、検討が必要である。

## 参考文献

- 1) (独)土木研究所材料地盤研究グループ（土質・振動）、橋梁構造研究グループ：液状化に対する新しい基礎構造に関する研究，平成20年度戦略研究報告書，2009。
- 2) 寺師昌明，田中洋行，光本司，本間定吉，大橋照美：石灰・セメント系安定処理土の基本的特性に関する研究(第3報)，港湾技術研究所報告，第22巻，第1号，pp.69-96，1983。
- 3) 田正範，島田静雄：水で満たされたモルタルの圧縮破壊および疲労特性に関する基礎的検討，土木学会論文集，No.245，pp.65-76，1976。
- 4) 松下博通：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究，土木学会論文集，No.296，pp.87-95，1980。
- 5) 田中良樹，村越潤，長屋優子：橋面アスファルト舗装の透水性が鉄筋コンクリート床版の耐久性に及ぼす影響（下）—塩水による疲労と塩害の複合劣化—，橋梁と基礎，Vol.42，No.12，pp.26-31，2008。
- 6) 寺師昌明，田中洋行：深層混合処理工法による杭式改良地盤の支持力および圧密特性，港湾技術研究所報告，Vol.22，No.2，pp.213-266，1983。
- 7) 佐々木伸，木山正明，奥村隆一：大阪北港地区における深層混合処理工法，基礎工，Vol.12，No.8，pp.101-105，1984。
- 8) 斎藤聰：深層混合処理工法による改良土の調査と工学的性質，基礎工，Vol.13，No.2，pp.108-114，1985。

**TITLE: A STUDY ON NEW METHODS FOR BRIDGE FOUNDATION IN THE LIQUEFIABLE GROUND**

**Abstract:**

In order to reduce the costs associated with the a seismic retrofitting of existing foundations and construction of new foundations, soil stabilization of highway bridge foundations has been implemented in recent years in areas where the grounds consist of weak and soft soil deposits as well as those prone to soil liquefaction. In addition, new types of foundations have been researched and developed and case studies of implementation in actual bridges have also been reported. However, neither the application extent of improvement nor the design method applicable for foundations that employ ground improvement has not been well-established to date. In this fiscal year, soil tests on solidified soils were performed. As a result, fatigue characteristics on unconfined cyclic compressive stress, the relationship between unconfined compressive strength and tensile strength on split-cylinder test, and fatigue characteristics on cyclic tensile stress were clarified.

**Key words:** foundation, liquefaction, solidification, allowable stress, fatigue characteristics