

論文 高性能軽量骨材コンクリートのPC定着部試験

福田 一郎^{*1}・増川 淳二^{*2}・柳井 修司^{*3}・南 浩郎^{*4}

要旨： 高性能軽量骨材コンクリートにおける従来のPC定着システムの定着性能を把握するために、定着部をモデル化した部分試験体を用いて定着体の種類を変えて載荷実験を行った。比較のため、普通骨材コンクリートの試験も併せて行った。

その結果、高性能軽量骨材コンクリートを用いたPC定着部のプレストレス導入時のひび割れ幅は、耐久性からみた場合のひび割れ幅の許容範囲内であり、普通骨材コンクリートを用いた場合と比較しても差異は認められないことから、使用荷重時において、高性能軽量骨材コンクリートの従来のPC定着システムへの適用性が明らかとなった。

キーワード： 高性能軽量骨材, PC定着部, 支圧強度, プレレストコンクリート

1. はじめに

橋梁の長大化に伴い、上部工重量の軽減方法の1つとして、人工軽量骨材の採用が考えられる。従来の人工軽量骨材は、非造粒型がほとんどであり、吸水率が非常に大きかったため、ポンプ圧送性などの施工上の課題や、凍結融解抵抗性が問題となっていた。近年、低吸水率かつ高強度の造粒型軽量骨材（以下、高性能軽量骨材）が開発され、施工性・耐久性を確保し、安定した品質の軽量骨材コンクリートを製造できるようになってきた¹⁾。

プレレストコンクリート（以下PC）橋梁上部工への適用にあたっては、軽量骨材コンクリートのPC定着性能が問題になる。既往の研究によると、コンクリートの圧縮強度が比較的低い場合に、軽量骨材コンクリートの支圧強度は普通骨材コンクリートと大差はないが、高強度になると低くなることが知られている^{2),3)}。そのため、設計においては支圧強度を普通骨材コンクリートの60~80%とするのが一般であり⁴⁾、従来型の軽量骨材を用いて実験を行なった研究においては、割裂補強筋量を増加させてい

る例も見られる。

ここでは、高性能軽量骨材を用いたコンクリートのPC定着部の性能に関する基本特性を把握することを目的とし、既存のPC定着システムをそのまま用いて載荷試験を行った。

2. 実験概要

PC橋梁上部工において、一般的に使用されているPC定着システム4種類を対象に高性能軽量骨材コンクリートを用いた場合の定着性能に関する基本実験を行った。定着体の性能試験の方法は土木学会の方法⁵⁾に準拠した。

2.1 実験配列

実験配列を表-1に示す。定着システムとして分類すると、鋼より線用として用いられるリブキャストアンカータイプ、鋼棒用のアンカークロケットタイプ、そしてプレートタイプの3種類となり、リブキャストアンカータイプは2種類の容量の定着システムを用いた。普通骨材コンクリートの圧縮強度は標準的なPC構造物を想定して40N/mm²とした。高性能軽量骨材コンクリートを使用した場合は、既往の文献・基準

*1 鹿島 技術研究所 土木技術研究部 構造・耐震グループ 研究員 (正会員)

*2 鹿島 技術研究所 土木系LCEプロジェクトチーム 研究員 工修 (正会員)

*3 鹿島 技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 研究員 工修 (正会員)

*4 鹿島建設(株) 土木設計本部 第二設計部 設計主査 工修 (正会員)

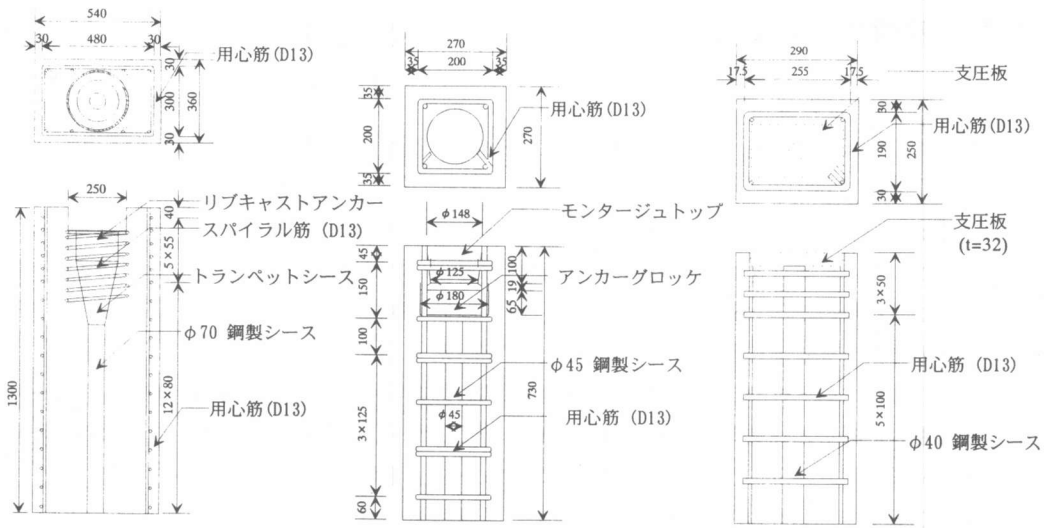


図-1 N1-40,L1-40,L1-60

図-2 N2-40,L2-60

図-3 N3-40,L3-60

等を参考に支圧強度の低減を勘案し、圧縮強度レベルを 60N/mm^2 ($60 \times 0.7 = 40$) とし、比較のため、一部 40N/mm^2 についても実施した。

2.2 試験体

各試験体の配筋及び定着体設置状況を図-1～図-4に示す。高性能軽量骨材コンクリートにおける既存の定着システムに対する適用性を検討するため、用心筋の鉄筋量・配筋はコンクリートの種類にかかわらず、同様とした。

2.3 使用材料特性

コンクリートの配合を表-2に示す。高性能軽量骨材コンクリートは、I種軽量骨材コンクリートとした。

コンクリートの強度試験結果を表-3に、鉄筋の強度試験結果を表-4にそれぞれ示す。

2.4 載荷容量

載荷試験は5000kN圧縮試験機を用いて、PC鋼材を通さずに、載荷治具を用いて直接圧縮力を加力して行った(図-5参照)。載荷は2段階とした。

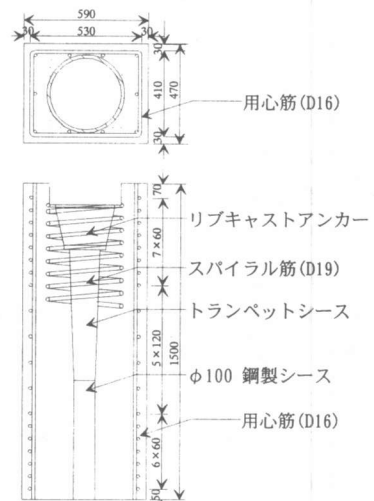


図-4 L4-40

(単位: mm)

表-1 実験配列

| 定着システム | 骨材種類 コンクリート 強度 | 骨材種類 | | |
|-------------------|----------------------|-------|---------|-------|
| | | 普通骨材 | 高性能軽量骨材 | |
| | | 40 | 40 | 60 |
| リブキャストアンカー タイプ | 12S12.7 | N1-40 | L1-40 | L1-60 |
| | 19S15.2 | — | L4-40 | — |
| アンカークロックタイプ | φ32 | N2-40 | — | L2-60 |
| プレートタイプ | 1S28.6 | N3-40 | — | L3-60 |

第1段階ではプレストレス導入時におけるひび割れおよび定着体の性状を把握するため、プレストレス導入時の許容値である $0.9P_y$ (P_y はPC鋼材の規格降伏荷重)の張力に相当する荷重を載荷した。第2段階では、まず $1.2P_u$ (P_u はPC鋼材の規格引張荷重)の張力に相当する荷重を載荷し、試験体の状態を確認しながら、破壊まで載荷した。但し、L4試験体に関しては試験機の性能上、5000kN ($1.0P_u$ に相当)を上限として実験を終了した。試験体ごとに各載荷段階におけるコンクリート材齢および載荷荷重をそれぞれ表-5および表-6に示す。

2.5 計測方法

計測項目は定着体のめり込み量、鉄筋のひずみ、試験体表面のコンクリートのひずみ、ひび割れ幅およびひび割れ分布状況とした。めり込み量の測定は試験装置の大きさの関係から直接定着体に変位計をあてて測定することが困難なため、載荷治具を剛体とみなし、円筒状の載荷治具の左右両側でそれぞれコンクリート上縁と

の相対変位を測定し、その平均をめり込み量とした(図-6参照)。用心筋又はスパイラル筋のひずみ、および試験体側面のコンクリートのひずみをひずみゲージで測定した。ひび割れ幅はクラックゲージを用い目視によって測定した。

3. 実験結果

(1) 荷重-めり込み量の関係

図-7に各試験体の荷重-めり込み量関係

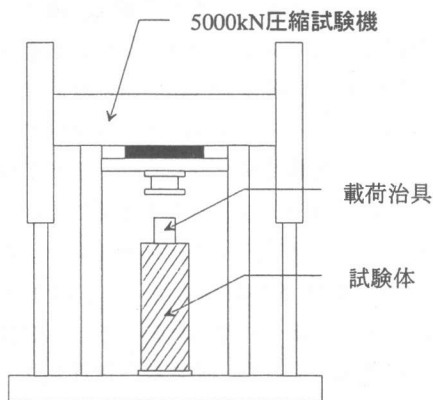


図-5 載荷装置

表-2 コンクリートの配合

| | 圧縮強度レベル (N/mm^2) | 試験体 | Gmax (mm) | スランブ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | Gvol (l) | s/a (%) | 単位量 | | | | 単位容積質量 (kg/m^3) |
|-------------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----------------|------------------------|
| | | | | | | | | | W | C | S | G ^{注1} | |
| 高性能軽量骨材 コンクリート | 60 | L1-60~L3-60 | 15 | 21±1.5 | 6.0±1.5 | 35 | 350 | 46.5 | 155 | 443 | 770 | 427 | 1,857 |
| 普通骨材コンクリート | 40 | L1-40,L4-40 | 15 | 21±1.5 | 6.0±1.5 | 45 | 340 | 48.6 | 160 | 356 | 844 | 415 | 1,747 |
| 普通骨材コンクリート | 40 | N1-40~N3-40 | 20 | 12±2.5 | 4.5±1.5 | 38.1 | 396 | 36.5 | 180 | 473 | 593 | 1,057 | 2,128 |

注1: L1-60~L3-60,L1-40,L4-40は高性能軽量骨材, N1-40~N3-40は普通骨材

表-3 コンクリート強度試験結果

| 試験体 | | L1-60~L3-60 | L1-40,L4-40 | N1-40~N3-40 |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| コンクリート | 圧縮強度 (N/mm^2) | 56.0 (1.78) | 32.4 (1.03) | 31.5 (1.00) |
| | 引張強度 (N/mm^2) | 60.4 (1.53) | 37.8 (0.96) | 39.5 (1.00) |
| 引張強度 (N/mm^2) | 第1段階時 | 2.46 (0.90) | 2.12 (0.77) | 2.73 (1.00) |
| | 第2段階時 | 3.07 (0.91) | 2.39 (0.71) | 3.38 (1.00) |
| ヤング係数 (N/mm^2) | 第1段階時 | 2.39×104 (0.84) | 1.92×104 (0.67) | 2.84×104 (1.00) |
| | 第2段階時 | 2.43×104 (0.83) | 2.06×104 (0.70) | 2.93×104 (1.00) |
| 単位容積質量 (N/mm ²) | | 1,857 (0.87) | 1,747 (0.82) | 2,128 (1.00) |

() 内にN1~N3試験体に用いた材料の値を1.00とした比率を示す。

表-4 鉄筋強度試験結果

| 試験体 | | L1-60~L3-60 | L1-40 | L4-40 ^{注1} | N1-40~N3-40 |
|----------|-------------------|-------------|-------|---------------------|-------------|
| 用心筋(D13) | 降伏強度 (N/mm^2) | 367.2 | 358.5 | 397.3 | 367.2 |
| | 引張強度 (N/mm^2) | 531.3 | 503.7 | 586.2 | 531.3 |

注1: L4の鉄筋強度はスパイラル筋に用いたD19の値

を示す。第2段階は、第1段階加力終了時の残留めり込み量を原点として表示した。

図-7より、0.6Py 前後でコンクリート表面にひび割れが発生したことがわかる。また、いずれの試験体においても第1段階の0.9Py 時には定着体に有害な変形、めり込み等は見られなかった。

第2段階においては、L1-60~L3-60, N1-40~N3-40 では最大荷重が1.2Pu 以上であったのに対し、L1-40 は1.0Pu を若干越えた時点で最大荷重に達した。コンクリートの圧縮強度レベル(40N/mm²)が同じL1-40 とN1-40 の最大荷重を比べると、L1-40 はN1-40 の約8割であった。これは、軽量骨材コンクリートの支圧強度は、普通骨材コンクリートの支圧強度の6~8割であるという既往の研究結果と同様の傾向を示した。L1-60 とN1-40, L2-60 とN2-40 およびL3-60 とN3-40 をそれぞれ比較すると、定着システムの種類によらず、高性能軽量骨材コンクリートの圧縮強度が普通骨材コンクリートの1.5倍(60N/mm²)の場合には普通骨材コンクリートと同等以上の耐力を示した。

実験終了時において、用心筋又はスパイラル筋が降伏した試験体はL1-60, L1-40, N1-40, L2-60 であった。リブキャストアンカータイプ(12S12.7)は、すべての試験体でスパイラル筋が降伏しており、スパイラル筋の降伏と同時にめり込み量が急増している。特に、L1-40 では1.0Pu で荷重保持している最中にスパイラル筋が降伏し、ひび割れ観察中にめり込み量が増え続けた。これは、スパイラル筋の補強量を増やすことにより耐力の向上が望めることを示唆している。

(2) 最大ひび割れ幅

表-7に各載荷段階におけるコンクリートの最大ひび割れ幅を示す。表-7より、いずれの試験体においても、載荷荷重が0.9Py 時の最大ひび割れ幅は0.06mm 以下であり、基準⁶⁾に示されている「きびしい環境下、補修を必要としないひび割れ幅0.1mm 以下」という規定を満

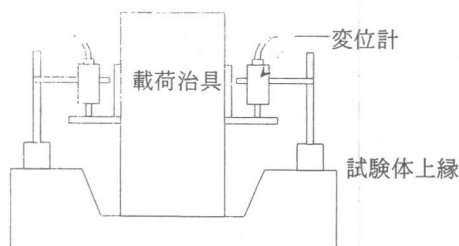


図-6 めり込み量測定方法

表-5 各段階のコンクリート材齢

| 試験体 | 第1段階 | 第2段階 |
|--------------|-------|-------|
| L1-60~L3-60 | 材齢 3日 | 材齢 7日 |
| N1-40~N3-40 | | |
| L1-40, L4-40 | 材齢 2日 | 材齢 3日 |

表-6 載荷荷重

| 定着体 | 第1段階 | 第2段階 |
|---------|-------|-------|
| | (kN) | (kN) |
| 12S12.7 | 1,685 | 2,635 |
| φ32 | 673 | 1,139 |
| 1S28.6 | 726 | 1,139 |
| 19S15.2 | 3,796 | 4,959 |

表-7 各載荷段階における最大ひび割れ幅

| 載荷段階 試験体 | 0.9Py | 1.0Pu | 1.2Pu |
|-------------|----------|--------|--------|
| L1-60 | 0.06mm | 0.06mm | 0.09mm |
| L1-40 | 0.04mm | 0.08mm | — |
| L2-60 | 0.05mm | 0.04mm | 0.06mm |
| L3-60 | 0.04mm | 0.04mm | 0.06mm |
| L4-40 | 0.06mm | 0.20mm | — |
| N1-40 | 0.04mm以下 | 0.09mm | 1.18mm |
| N2-40 | 0.06mm | 0.06mm | 0.36mm |
| N3-40 | 0.04mm以下 | 0.06mm | 0.06mm |

表-8 ϵ_c の値 (: 単位 $\times 10^{-6}$)

| | L1-60~L3-60 | L1-40, L4-40 | N1-40~N3-40 |
|-------|-------------|--------------|-------------|
| 第1段階時 | 103 | 110 | 96 |
| 第2段階時 | 126 | 116 | 115 |

足している。載荷荷重が1.0Pu および1.2Pu 時の最大ひび割れ幅は、リブキャストアンカータイプおよびアンカークロックタイプは相対的に高性能軽量骨材コンクリートの方が普通骨材コンクリートよりも小さめになった。一方、支圧板タイプは、ほぼ同等であった。

コンクリートのひび割れに関しては、引張強度をヤング係数で割ったものが、ひび割れ発生

ひずみの1つの指標と考えられる(以下 ϵ_c)。表-3より ϵ_c の値を求めると表-8のようになり、高性能軽量骨材コンクリートの ϵ_c は普通骨材コンクリートのそれに比べて大きい値になっていることがわかる。このことから、ヤング係数が相対的に小さくなる高性能軽量骨材コンクリートは、使用状態におけるひび割れ幅の制御という観点からは有利になると考えられる。

(3) ひび割れ分布状況

図-8に0.9Py時および実験終了時におけるひび割れ分布状況を示す(図はともに、各試験体の縁辺距離が最も短い側面)。

全体的にひび割れ分布状況は定着システムごとに比較すると、各載荷段階で骨材の種類の違いによる有為な差は認められない。

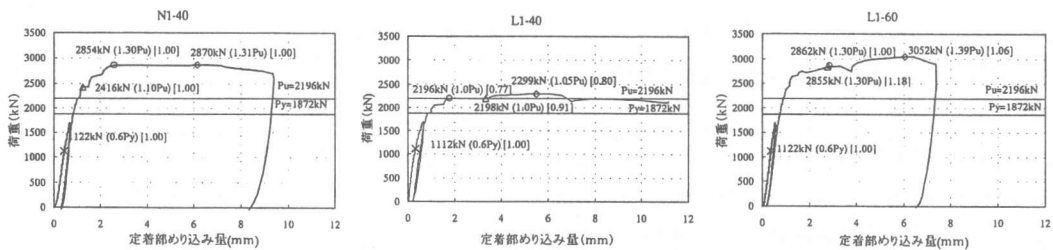
リブキャストアンカータイプでは試験体上縁から約20~25cm下った位置(リブキャストアンカー下端リブ付近)に水平なひび割れが入り、これが両側に伸展する。定着体のめり込みに伴ってこの位置がはらみ出す。

アンカークロックタイプは、ひび割れはあまり分散せず、試験体上縁から約10cm下った位置(アンカークロック下端)に水平ひび割れが伸展する。

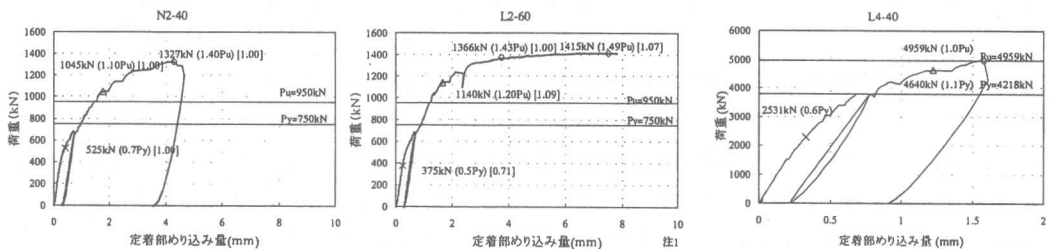
支圧板タイプは鉛直ひび割れが支配的である。

4. まとめ

高性能軽量骨材コンクリートにおける従来のPC定着システムの定着性能を把握することを目的に、定着部をモデル化した部分試験体を用

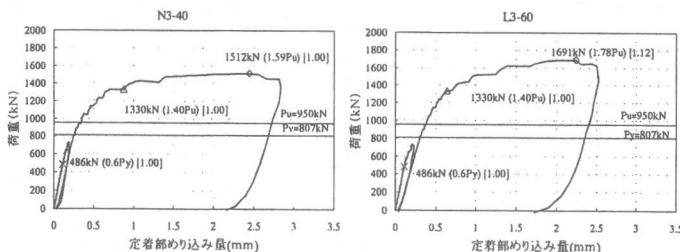


(a) リブキャストアンカータイプ 12S12.7



(b) アンカークロックタイプ

(d) リブキャストアンカータイプ 19S15.2



(c) プレートタイプ

[]内に、各定着体毎の、普通骨材コンクリートを用いた試験体の値に対する比率を示す。

- ◇ : 最大荷重
- : 用心筋又はスパイラル筋降伏荷重
- △ : ひび割れ幅が0.1mmを越えた荷重
- × : ひび割れ発生荷重

図-7 荷重-めり込み量関係

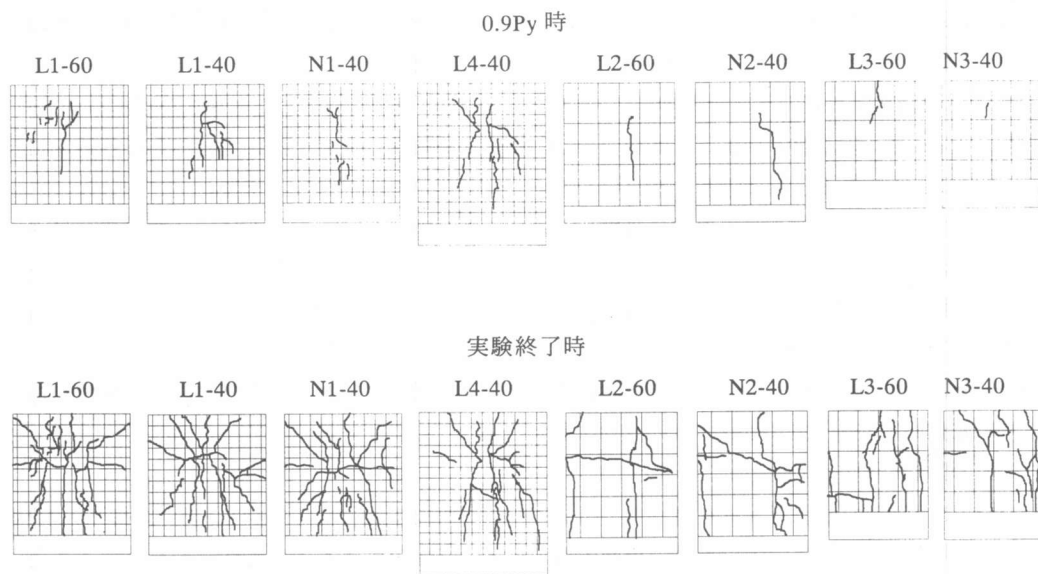


図-8 ひび割れ分布状況 (1マス5cm)

い、定着体の種類を変えて載荷実験を行った。その結果をまとめると、以下の通りである。

とが確認された。

- (1) 高性能軽量骨材コンクリートの0.9Py時までのひび割れ状況及び最大ひび割れ幅は普通骨材コンクリートの場合と比較して有為な違いは認められなかった。
- (2) リブキャストアンカータイプ12S12.7の定着システムにおいて、コンクリートの圧縮強度レベルを同じ (40N/mm^2) にした場合、高性能軽量骨材コンクリートの終局時の定着耐力は普通骨材コンクリートの場合の約8割であった。
- (3) 高性能軽量骨材コンクリートの圧縮強度を普通骨材コンクリートの1.5倍 (60N/mm^2) にした場合には、最大荷重および耐荷性状ともに普通骨材コンクリートの場合と同等以上であった。

以上のことから、高性能軽量骨材コンクリートは、従来のPC定着システムに用いた場合における使用荷重時において、耐久性上から決まるひび割れ幅の許容値を満足しており、普通骨材コンクリートを用いた場合と比較してもほとんど差異は認められないことから、従来のPC定着システムへの適用性を十分に有しているこ

参考文献

- 1) 岡本亨久, 早野博幸, 柴田辰久: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, vol.36, No.1, pp.48-52, 1998.1
- 2) 奥島正一・小阪義夫・谷川恭雄: 人工軽量骨材コンクリートの支圧強度に関する研究, セメントコンクリート, No.238, pp.564-568, 1966.12
- 3) 西沢紀明・池田良雄: 人工軽量骨材を用いたコンクリートの支圧強度に関する実験結果について, 日本ACI構造用軽量コンクリートシンポジウム論文集, 1964.11
- 4) 土木学会: 人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル, コンクリートライブラリー第56号, 1985. 6
- 5) 土木学会: プレストレスコンクリート工法設計施工指針, PC工法の定着具および接続具の性能試験法(案), コンクリートライブラリー第66号, 1989.3
- 6) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, pp.6-7, 1987