

報告 下面増厚材料の力学的特性および耐久性に関する基礎試験

松原 功明*1・横山 和昭*2・鹿野 善則*3・坂田 昇*4

要旨：道路橋床版における下面増厚材料として、各種プレミックス材料が市販されている。これらの下面増厚補強用セメント系材料のうち、9材料を対象として、力学的性状および耐久性について実験的に検討した。その結果、圧縮強度は 20~65N/mm²と材料によって異なること、引張強度、曲げ強度は圧縮強度とほとんど相関が見られないこと、引張強度、曲げ強度が普通のコンクリートの2倍以上を示す材料があること、付着強度は 2.5~3.5N/mm²で比較的大きいこと、総じて中性化速度が普通コンクリートよりも遅いことなどが分かった。

キーワード：下面増厚工法、床版、補強材料、耐久性、付着強度

1. はじめに

道路橋床版においては、その老朽化や設計基準の変更などにより、補強が必要となることがある。その一工法として、床版の上面ではなく、下面を増厚する、下面増厚工法がある。この工法の特徴としては、上面からの増厚とは異なり、交通を開放しながら施工可能であることや、雨天時の施工も可能であることなどが挙げられる。

下面増厚工法の施工方法は次の通りである。まず既設床版下面の表面処理を行い、床版下面に補強材（鉄筋、格子状FRPなど）を配置し、コンクリートアンカーで既設コンクリートに固定する。その後、接着性に優れたセメント系増厚材料で下面増厚を行い、既設コンクリートと

一体化させることによって床版の剛性を向上させる。（図-1）

下面増厚補強用セメント系材料としては、既設コンクリートとの接着性が比較的良いことから、ポリマーセメントモルタルが多く用いられている。施工方法としては、コテ塗り施工の実績が最も多いが、施工性が悪いなどの問題があり、最近では、吹付け施工が可能な材料が開発され、適用実績も徐々に増えている。これらの吹付け用セメント系増厚材料には、上向き施工でのダレ防止やひび割れ抑制などの目的で短繊維が混入されている。

しかし、コテ塗り施工や吹付け施工のいずれの下面増厚材料についても要求性能が明確になっておらず、市販のプレミックス材料を使用しているのが現状である。これらの材料については、メーカー独自の試験による性状は示されているが、試験項目および方法に統一性がなく、各々の材料の違いについても明確になっていない。そのため、本報告では、下面増厚材料に要求される性能を明確にする上で必要となる基礎的な性能として、これらプレミックス材料

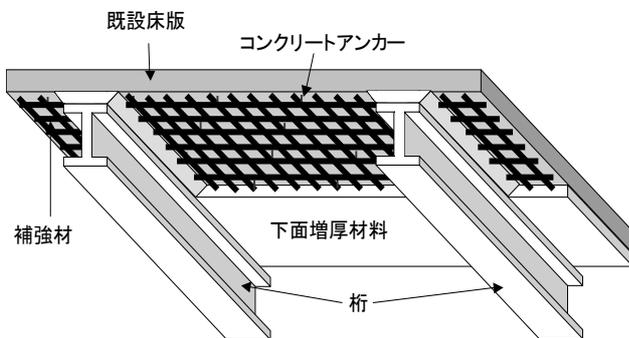


図-1 下面増厚補強工法の概念

* 1 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・LCEグループ 研究員 工修（正会員）

* 2 日本道路公団試験研究所 道路研究部 橋梁研究室 工修（正会員）

* 3 日本道路公団試験研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員（正会員）

* 4 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・LCEグループ グループ長 工博（正会員）

の力学特性、耐久性について実験的に把握した。

2. 実験概要

2.1 対象材料

今回対象とした材料の仕様を表-1に示す。材料はすべてプレミックスされたものであり、その材料の配合などは不明である。しかし、使用繊維、使用

ポリマーは表-1に示すとおりであり、また、水+ポリマーとプレミックス材料の比率を示した。対象材料の施工方法は、材料A, B, C, D, E¹⁾, F²⁾およびG³⁾が湿式吹付け、材料H⁴⁾は乾式吹付け、材料I⁵⁾は流し込みである。

2.2 試験体作製

2.2.1 作製手順

それぞれの試験体寸法は表-2に示すとおりである。基本的に直接型枠に吹き付けることによって作製したが、くさび試験の試験体については、図-2に示すような型枠に吹付け、硬化後にJSCE-F553に準じた切出しを行うことによって作製した。また、付着強度試験の試験体については、100×100×400の型枠を15mm底上げしたものに基板コンクリートを打設した。基板コンクリートが硬化した後、実際の工事を想定し、100×400の面をウォータージェットにより平均処理深さが1mm程度となるよう表面を処理し、下面増厚材料を打設した。その後、付着強度測定時に、図-3に示す寸法に切り出して試験を実施した。

2.2.2 吹付け方法

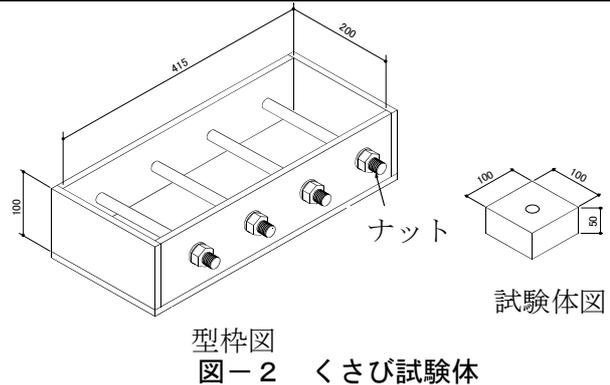
試験体は、型枠への吹付けにより作製することを基本としたが、材料Iについては、吹付け施工ができないため、ポンプを介して型枠への流し込みにより作製した。

表-1 対象材料

材料	施工方式	使用ポリマー	(水+ポリマー)/粉体	使用繊維
A	湿式吹付け	SBR系	16.8%	ビニロン
B			25.0%	
C			25.0%	ポリエチレン
D		アクリル系	20.0%	炭素
E			19.2%	アクリル系
F			13.5%	ビニロン
G	22.5%			
H	乾式吹付け	なし	45.0±2.0%	鋼
I	流し込み	アクリル系	14.3%	なし

表-2 試験項目

試験項目		試験方法	試験体寸法(mm)
力学特性	圧縮強度試験	JIS A 1108	Φ100×200
	ヤング係数試験	JSCE G 502	Φ100×200
	引張強度試験	(本文2.3.1)	(図-4)
	曲げ強度試験	JSCE G 552	100×100×400
	くさび試験	(本文2.3.2)	(図-5)
耐久性	付着強度試験	(本文2.3.3)	(図-3)
	中性化促進試験	(本文2.3.4)	100×100×400
	凍結融解抵抗試験	JIS A 6204 附属書2	100×100×400



試験体は、それぞれの型枠を約70°に傾けて立てかけ、型枠の上部より下部へ順次吹き付けることによって作製した。ただし、材料B, 材料F, 材料Iについては、ダレが生じたため型枠を水平にして試験体を作製した。また、乾式吹付け方式を採用している材料Hについては、寸法が小さい試験体を型枠に直接吹き付けて作製すると、急結材を用いるため型枠内に材料が十分に充填されないことが懸念された。そこで、材料Hについては、500×500×200mmの箱型枠に吹き付けその後JSCE-F553に準じたコア抜きおよび切出しによって試験体を作製した。

2.3 試験項目・方法

今回行った試験項目および方法を表-2に示す。表中の2.3.1~2.3.4の試験方法はそれぞれ

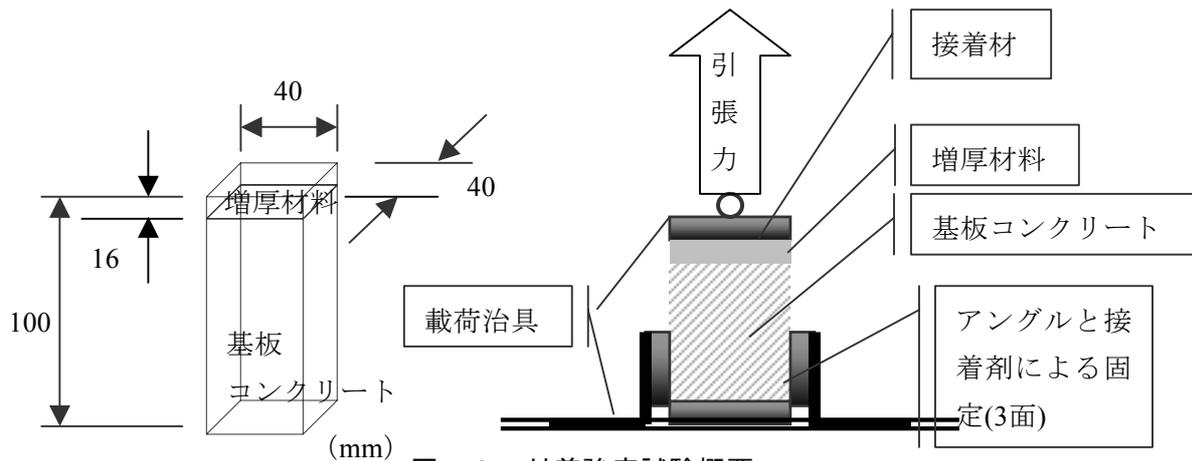


図-3 付着強度試験概要

以下の通りである。

2.3.1 引張強度試験

材料A～GおよびIについては、図-4に示す供試体の両端を空気圧によるグリップで挟み、一端固定、他端ピンの境界条件で引張荷重を載荷した。材料Hは、急結剤を用いていることから、試験体作製上、この供試体の成形が困難であるため、中央部に深さ5mmの切欠きを有する寸法φ100×200mmの試験体を用いた一軸引張試験を実施した。

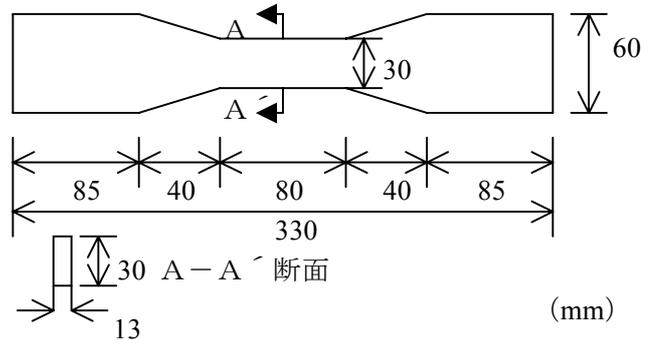


図-4 引張試験供試体

2.3.2 くさび試験

本試験は鉄筋膨張圧に対する抵抗性を検証することを目的として行った。試験の概要を図-5に示す。中空部を有する試験体にテーパのついた鋼棒（くさび）を挿入することで、試験体中空部に鉄筋の腐食膨張圧を模擬した引張応力を発生させ、くさびに載荷した荷重と変位およびひび割れ幅を計測した。

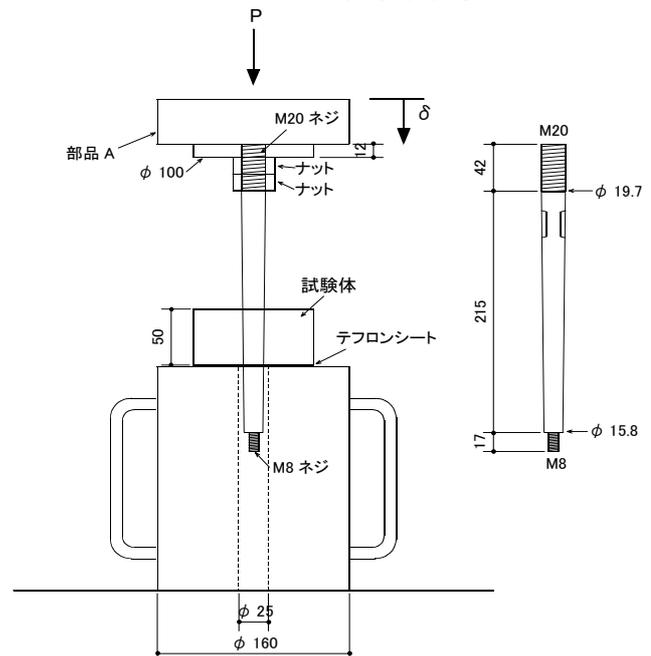


図-5 くさび試験概要

2.3.3 付着強度試験

本試験では、既設床版との付着強度を把握するために、図-3に示す付着強度試験を行った。さらに、凍結融解作用が付着強度に及ぼす影響を把握するため、30サイクルの凍結融解試験による負荷をかけた供試体についても同様の試験を行った。

2.3.4 中性化促進試験

建築学会による高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説の付1に記される方法に原則として従い、温度20℃、相対湿度60%

RH、二酸化炭素濃度5%の条件で実施した。カットした断面にフェノールフタレイン溶液を塗布して中性化深さを測定した。

3. 試験結果

3.1 力学的特性

図-6に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。

数値は3体の供試体の平均値である。材料間で圧縮強度が異なるのは、一般に、水結合材比の相違に起因するものと考えられるが、今回の試験では定かではない。また、圧縮強度とヤング係数の間には、高い相関関係が認められた。このことから、本実験ではポリマーセメント材料とセメント材料を使用しているが、ポリマーセメント材料についてもポリマー混入量が少ないと考えられ、そのため、セメント材料とほぼ同様の傾向を示したと考えられる。なお、下面増厚材料はいずれもモルタルであるため、ヤング係数は、図中に示した普通のコンクリートのヤング係数⁶⁾よりも小さな値を示した。

図-7に引張強度と圧縮強度の関係を示す。引張強度は6体の供試体の平均値である。図中に、普通のコンクリートにおける圧縮強度と引張強度の関係を示す⁷⁾。吹付け材料には、吹付け後のダレ防止のため、短繊維が混入されている。しかし、材料によっては、引張強度が普通コンクリートと同程度あるいはそれ以下であった。これに対し、材料FおよびGは、引張強度と圧縮強度の比が普通コンクリートの2倍程度であった。この原因としては、各材料の詳細な配合が不明であるため、詳細な考察はできないが、繊維補強、ポリマーおよび粉体の最適組み合わせがあるものと考えられる。

図-8に曲げ強度と圧縮強度の関係を示す。曲げ強度は3体の供試体の平均値である。曲げ強度は引張強度と同様に、圧縮強度との相関は小さく、むしろ材料特性によるところが大きいものと考えられる。曲げ強度レベルは、材料G以外の下面増厚材料では、図中に示す普通のコンクリートの曲げ強度⁷⁾⁸⁾と同程度であった。材料Gの曲げ強度は12.0N/mm²、曲げ強度/圧縮強度=1/3程度と、ほかの材料に比べて大きく、引張強度同様に、繊維補強による効果が顕著に表れているものと考えられる。

図-9に曲げ強度試験のたわみと応力の関係を示す。図中では4材料のみを示したが、残りの材料A, B, E, F, Iについては、普通コンク

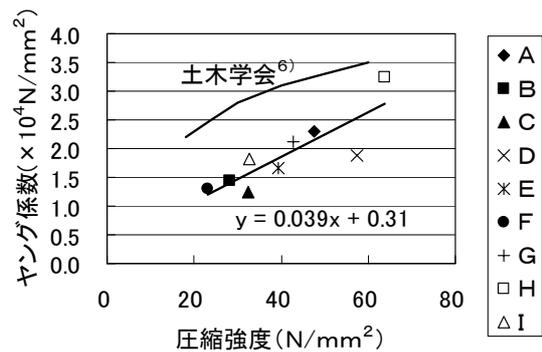


図-6 ヤング係数と圧縮強度の関係

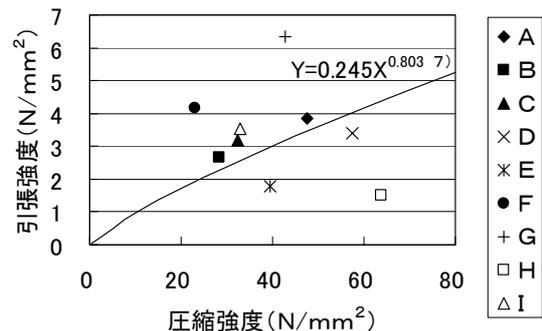


図-7 圧縮強度と引張強度の関係

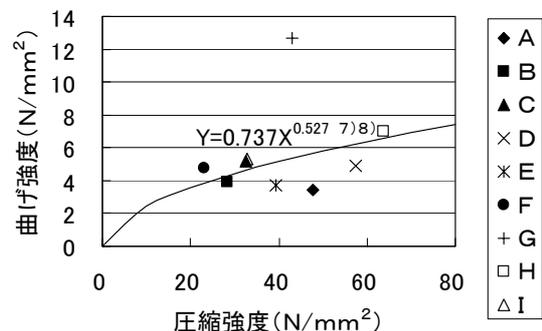


図-8 圧縮強度と曲げ強度の関係

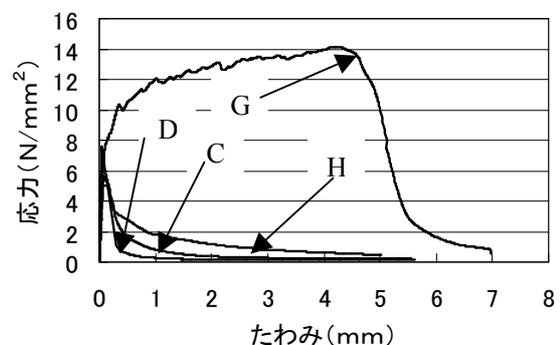


図-9 曲げ靱性

リートと同様にひび割れ発生直後に破断する結果であった。材料C, DおよびHは、ひび割れ発生直後に破断しなかったものの、急激に応力が

低下するのに対し、材料Gはひび割れ発生後も応力は増加する傾向を示し、高い靱性を示した。

図-10にくさび最大荷重とひび割れ本数の関係を示す。くさび最大荷重は3体の供試体の平均値である。材料G以外の材料では、ひび割れが1～2本であり、1本のひび割れ幅が0.3mm～2.0mm(くさび変位13mmのとき)と大きくなる結果となった。これに対し、材料Gでは、ひび割れが分散し、1本のひび割れ幅も0.06mm～0.2mm(くさび変位13mmのとき)と小さく、その結果、荷重が増大する特性を示した。

図-11に圧縮強度と付着強度の関係を示す。付着強度は、下面増厚材料に要求される重要な性能の一つである。付着強度を求めるにあたっては、各7体について試験を実施したうち、アングル・引張治具などの接着部分で破壊したケースを除外し、母材、増厚材料、増厚界面で破壊したケースのみを有効範囲として平均値を算出した。付着強度は、圧縮強度にほとんど関係なく、2.5～3.5N/mm²であった。増厚材料の付着強度の目安として、1.0N/mm²以上⁹⁾、または1.5N/mm²以上¹⁰⁾が示されているが、すべての材料においてこれらの値を上回った。このように、付着強度については、プレミックス材料において十分に考慮されていることが伺える。

3.2 耐久性

凍結融解前後の付着強度試験結果を図-12に示す。試験体数は0サイクル時と同じである。30サイクル時は2.0～3.7N/mm²であり、凍結融解をしないときと同程度の値を示した。したがって、この程度の凍結融解作用に対しては、付着強度は影響を受けないものと考えられた。

図-13に促進中性化試験結果を示す。中性化深さは材料によって大きく異なる傾向を示した。この原因としては、一般的に水結合材比は中性化速度に大きな影響を及ぼすとされているが、本実験では、図-6に示す圧縮強度と中性化速度には相関が見られないことから、水結合材比が中性化速度に対して影響を及ぼしているとは考えにくく、フレッシュ時の空気量や、ポリマ

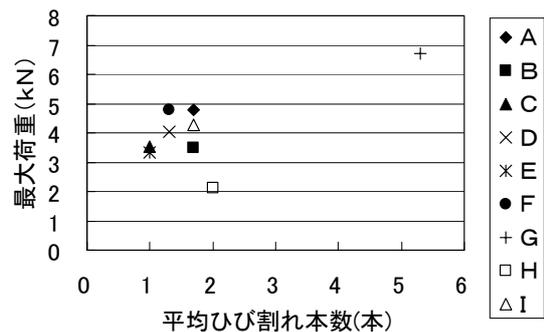


図-10 くさび最大荷重とひび割れ本数

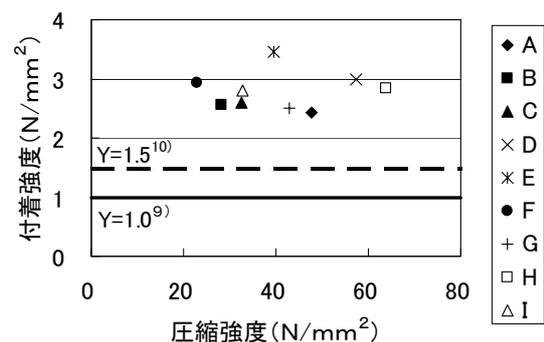


図-11 圧縮強度と付着強度の関係

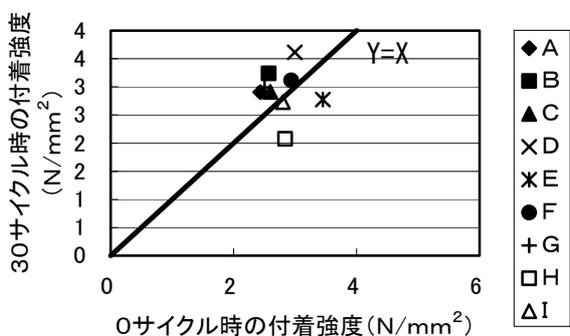


図-12 付着強度

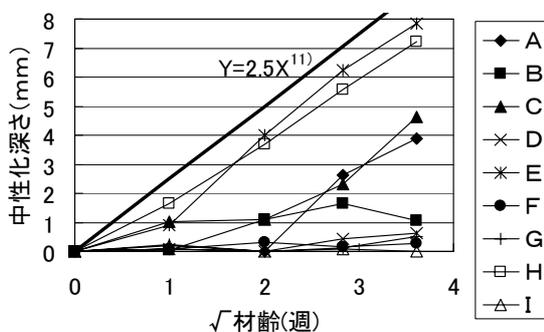


図-13 中性化深さ

一の影響など、その他の要因が大きいと考えられた。なお、材料Bにおいて、8週から13週

にかけて中性化深さが小さくなっているが、これは実験上の誤差と考えられる。なお、いずれも建築学会が示す、W/C=50%のコンクリートの促進中性化試験中性化速度¹¹⁾よりも遅い、即ち、中性化しにくい結果となった。図-14に凍結融解試験における各材料の相対動弾性係数の推移を示す。材料Fの300サイクルの相対動弾性係数が60%を下回った。しかし、それ以外の材料については、90%以上の相対動弾性係数を維持しており健全であった。

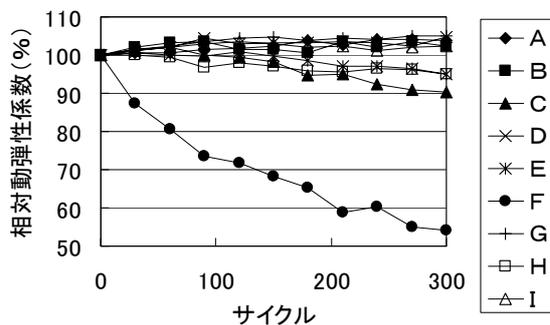


図-14 相対動弾性係数

4. まとめ

下面増厚補強用セメント系材料のうち、市販されているプレミックス材9種類を対象として、力学的性状および耐久性について実験的に検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 圧縮強度は20~65N/mm²と、材料によって異なるが、圧縮強度とヤング係数の間には高い相関が認められた。

(2) 引張強度および曲げ強度は、圧縮強度にほとんど相関がなく、その強度レベルは、ほとんどの材料で普通のコンクリートと同様である。

(3) 引張強度および曲げ強度が普通のコンクリートの2倍以上の値を示す材料が存在する。

(4) 付着強度は、2.5~3.5N/mm²と、比較的大きい値である。

(5) 総じて、中性化速度は普通コンクリートよりも遅く、また、凍結融解抵抗性に優れている。

謝辞

本試験を行うにあたり、材料のご提供ならびに実験にご協力いただいた、電気化学工業(株)、

太平洋マテリアル(株)、アルファ工業(株)、コニシ(株)、(株)ポゾリス物産、宇部三菱セメント(株)、住友大阪セメント(株)、マグネ化学(株)、さらに試験体製作にご協力いただいた昭和ライト(株)に深い感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 吉内仁ほか：吹付けモルタルで下面増厚したRC部材の耐火性上について、コンクリート工学論文報告集, Vol. 22, No. 1, pp523-528, 2000
- 2) 佐藤貢一, 中庭勝, 桧作正登, 菅信二, 肥田研一：ポリマーセメントモルタル吹付けによる床版下面増厚施工, 土木学会年次学術講演会講演概要集, vol. 54th, No. A, p. 38-39, 1999
- 3) 閑田徹志, 斉藤忠, 坂田昇, 平石剛紀：PVA繊維を用いた高靱性FRCによる吹付け補修材の基礎的特性, コンクリート工学年次論文集, Vol23, No. 1, 2001, p475-480
- 4) 峰松敏和, 銀山功：超速硬セメントを用いた鋼繊維補強コンクリートの力学的特性について, 第5回コンクリート工学年次講演論文集, p. 17-20, 1983
- 5) 軽尾助夫, 末田彰助, 松井繁之：PPモルタルを用いた下面増厚工法の床版補強効果確認実験, 橋梁と基礎, vol. 31, No. 5, p. 23-29, 1997
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書平成8年度版(設計編), p. 25, 1996
- 7) R. Narayanan：The Tensile Strength of Concrete by the Split Test, Indian Concrete J., 35-8, p. 37, Aug. 1961
- 8) 谷川恭雄ほか：“構造材料実験法”(森北出版, 1980), p. 200.
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書平成8年度版(基準編), p. 567, 1996
- 10) 日本道路公団試験研究所：断面修復材品質規格, 材料施工試料(第1号)コンクリート保護工, 日本道路公団試験研究所技術資料, 第121号, p. 24-25, 1994. 3
- 11) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, 付1, 1991