

コンクリート水平打継ぎ部の耐久性向上に関する検討

Study on Durability Improvement for Horizontal Concrete Joint

斯波 明宏 AKIHIRO SHIBA

樋口 正典 MASANORI HIGUCHI

佐々木 亘 WATARU SASAKI

現在、コンクリート打継ぎ部の耐久性を向上させるような処理材が開発されているが、従来处理に比べた効果の程度については、明らかになっているとは言い難い。本報告では、市販されている打継ぎ処理材をいくつか選定し、水平打継ぎ部の耐久性として求められる水密性、中性化抵抗性、接着強度を確認した。その結果、後処理不要の処理材は水密性や中性化抵抗性で劣ることなど、各処理材の特徴が明らかとなった。また、従来处理でも適切に処置を行えば十分に打継ぎ部の性能が確保されることも確認した。

キーワード：水平打継ぎ、打継ぎ処理材、水密性、中性化、接着強度

Recently, many treatment materials improving durability for concrete joints have been developed. But it is still not cleared enough whether they are more effective than ordinary treatments for concrete joint. In this paper, some commercially available treatment materials were selected, and their water tightness, carbonation resistance and adhesive strength which are required as important durability factor for horizontal concrete joint were examined. The test results showed that joint materials without post-treatment for concrete joint had less water tightness and less carbonation resistance than ordinary treatment and characteristic of each material was obtained. Also it was confirmed that even in ordinary method proper treatment gives concrete joint enough durability.

Key Words: Horizontal Concrete Joint, Concrete Joint Materials, Water Tightness, Carbonation, Adhesive Strength

1. はじめに

コンクリート構造物の施工では、ほとんどの場合、打継ぎ部が生じてしまうことは避けられず、打継ぎ箇所について適切な施工や処理が行われないと、構造物の弱点となり易い。特に、貯水槽や水路などの水密性が要求される構造物では、打継ぎ部からの漏水が問題となる。打継ぎ部の処理方法としては、レイトランスの除去やチッピングなどの処理が従来から一般的に行われているが、近年では、打継ぎ部の耐久性を向上させるような新たな処理材が開発¹⁾されている。しかしながら、従来からの処理方法と比べた性能向上効果の程度については明らかになっていないとは言い難い。

本報告では、市販の打継ぎ処理材をいくつか選定し、それらの効果を確認することを主目的として、打継ぎ部の水密性、中性化抵抗性および接着強度について検討を行った。

2. 試験概要

(1) 試験体

表-1 に実験に用いた打継ぎ処理材を示す。試験体寸法は、図-1 に示すように 500×500×400mm とした。試験体は 1 層目 200mm を打込み後、養生と打継ぎ部の処理を施した。1 週間後に 2 層目 200mm を打込み、屋外にて 1 週間散水養生を行った。2 層目打込み後、材齢 28 日から各試験を開始した。用いたコンクリートの配合を表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材 G1, G2 は産地の異なる砕石、細骨材は陸砂 S1 および砕砂 S2 を併用した。打継ぎ処理材はブリーディングの影響を大きく受けるものと考えられるため、実構造物は打込み高さが今回の試験体よりも大きい場合が多く、ブリーディング量が多くなると想定し、W/C を 63.7%と大きく設定した。なお、スランプは 15±2.5cm、空気量は 4.5±1.5%とした。

(2) 水密性試験

図-1 に水密性試験の概要を示す。試験体の中心にφ100mmのコア孔を貫通して削孔し、コア孔から水圧(0.1MPa)をかけた。コンクリート中へ流入した単位時間当たりの水量を用いることにより、打継ぎ部の水密性を評価した。測定期間はおおむね2日間とした。なお、流入量は試験開始から1日~1日半が経過し、ほぼ定常状態になった時の値であり、各水準3体ずつの平均値である。

(3) 促進中性化試験

図-1 に促進中性化試験の概要を示す。試験体からφ100mmのコアを5本採取し、試験体全面を対象に促進中性化試験を行った。試験条件は室温20℃、湿度60%、CO₂濃度5%とし、試験期間(7, 28, 56, 91日)ごとに試験体を縦割りに切断し、切断面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴霧して中性化深さを測定した。

(4) 接着試験

図-1 に接着試験の概要を示す。試験体上面から300mmの位置までφ100mmで削孔し、コアの上面を引っ張ることで打継ぎ部の接着強度を測定した。なお、同様の方法でコンクリート自体(打継ぎ無し)の接着強度試験も行った。

3. コンクリートの性状

(1) ブリーディング試験

1層目コンクリートのブリーディングは打継ぎの性能に及ぼす影響が大きいことから、ブリーディング試験を行った。その結果を図-2に示す。なお、●は平均ブリーディング量(cm³/cm²)、▲はブリーディング率(%)を示している。

打込み後20分を経過した時点からブリーディング水が析出し、時間とともにほぼ一様にブリーディングが増加する傾向が見られた。打設後4時間~4時間半が経過するとブリーディング水の析出はなくなった。結果として、ブリーディング量、率とも一般的なコンクリートとあまり変わらない結果であった。

この結果より、ブリーディングが引いた後に散布するポリマーエマルジョン系の打継ぎ処理材①は、打込み後4時間半が経過した後に散布を行った。

(2) 圧縮強度

材齢28日における標準養生試験体の圧縮強度は1層

表-1 打継ぎ処理材

番号	打継ぎ処理材	処理方法	使用量(kg/m ²)
①	ポリマーエマルジョン系	打込み後散布	0.25
②	ポリマーエマルジョン系	打込み後散布	0.35
③	水和促進剤	従来処理後塗布	0.20
④	ポリマーセメントモルタル系	従来処理後塗布	2.70
⑤	ポリマーセメントモルタル系	従来処理後塗布	1.25
⑥	エポキシ樹脂系	従来処理後塗布	0.60
⑦	自己治癒型防水材料	従来処理後塗布	2.00
⑧	従来処理(チッピングのみ)	—	—

※①, ②は後処理不要

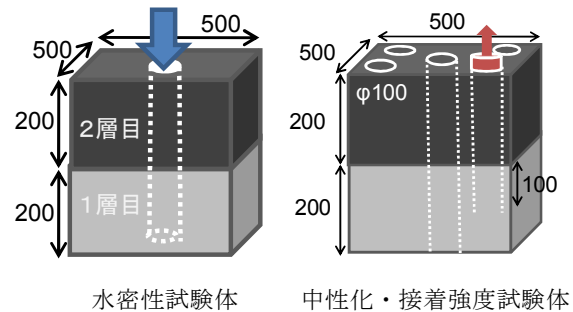


図-1 試験体寸法

表-2 コンクリート配合

セメント種類	W/C	s/a	単位質量(kg/m ³)						
	(%)	(%)	W	C	S1	S2	G1	G2	AE減水剤
普通	63.7	47.7	178	280	595	255	577	384	2.8

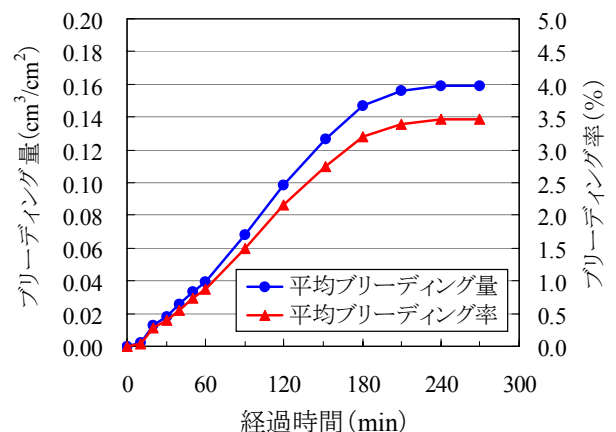


図-2 ブリーディング試験結果

目コンクリートが28.1N/mm²、2層目コンクリートが24.7N/mm²であり、ほぼ想定どおりの結果であった。

4. 水密性試験結果

(1) 経過時間に対する流入量

流入量の経時変化の一例を図-3 に示す。試験開始から3時間程度までは、流入量がかかなり大きいですが、6時間を過ぎたあたりから収束に向かっていいる。試験体の乾燥状態により初期の流入量のバラツキはあるものの、いずれの試験体もおおむね同様の傾向であった。

図中の破線はコンクリート標準示方書 [設計編]²⁾の水密性に対する照査から、単位時間当たりの透水量の設計値を用いて、打継ぎ部のない場合のコンクリートの透水量を求めた値である。用いた式を式(1), (2)に示す。

$$Q_d = \gamma_{pm} \left(K_d \cdot A \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (1)$$

$$\log K_d = 4.3 \cdot W/C - 12.5 \quad (2)$$

ここで、 Q_d : 単位時間当たりの透水量の設計値 (m³/s), γ_{pm} : 安全係数, K_d : コンクリートの透水係数の特性値 (m/s), A : 透水経路に相当するコンクリートの全面積 (m²), h : 構造物内部と外部の水頭差 (m), L : 設計断面厚さ (m), W/C : 水セメント比
式(1), (2)から透水量の設計値は $Q_d = 4.43$ (cm³/h) となった。本試験結果 (定常状態) は全体的に設計値よりも小さく、漏水が確認された試験体①および試験体②-1のみ設計値よりも大きな値であった。コンクリート自体の透水係数が設計で想定した値よりも小さかったためと考えられる。

(2) 試験体のバラツキ

各試験体に流入量のばらつきがみられた。そこで、各試験体3体の定常状態における流入量を用いて、平均値および標準偏差を算出した。その結果を表-3 に示す。

標準偏差で比較すると試験体①および⑧が大きな値であった。打継ぎ処理材を用いたものは、従来処理である試験体⑧と比較すると、試験体①以外で標準偏差が小さくなった。このことから、打継ぎ処理材を用いることにより従来処理の場合と比較して、施工による水密性のばらつきを小さくできる可能性がある。

(3) 流入量の比較

流入量比を用いて各試験体の水密性の評価を行った。その結果を図-4 に示す。ここでの流入量比とは試験体⑧の単位時間当たりの流入量に対する各試験体の流入量の比を表す。なお、流入量とは試験開始から1日~1日半が経過し、流入量がほぼ定常状態になった時の値であり、各水準3体ずつの平均である。

試験体①の流入量比は、試験体⑧に比べて倍以上で

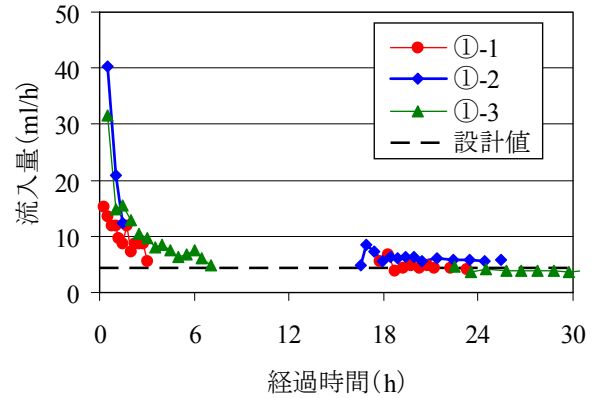


図-3 流入量と経過時間 (試験体①)

表-3 流入量のバラツキ

試験体番号	流入量	
	平均値(ml/h)	標準偏差(ml/h)
①	4.95	1.16
②	3.65	0.51
③	1.79	0.70
④	2.13	0.56
⑤	2.58	0.33
⑥	1.50	0.53
⑦	1.94	0.55
⑧	2.37	0.85
打継ぎ無し	0.56	0.25

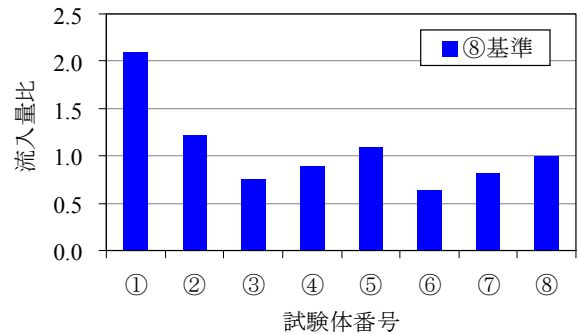


図-4 流入量比の比較



写真-1 漏水状況

あり、1日～2日で打継ぎ部からの漏水を確認した（写真-1）。この他、試験体②においても漏水が見られた。試験体①および②はチップング処理が不要であるが、水密性においては従来处理のものと比較して劣る可能性がある。試験体③、⑥および⑦は、試験体⑧と比較し水密性が向上した。試験体③の処理材は未水和セメントと反応して緻密化する作用があるため、流入量が小さくなった可能性がある。

5. 促進中性化試験結果

(1) 中性化深さの比較

促進中性化試験によりコア試験体の側面および打継ぎ部周辺の中性化深さを測定した。測定結果を表-4 および図-5、図-6 に示す。なお、打継ぎ部上部、下部は写真-2 に示した位置であり、一般側面部はそれ以外の側面の測定値である。図-6 の中性化深さ比とは、打継ぎ部上部、下部の中性化深さを従来处理の試験体⑧の測定値で除したものである。

各試験体において打継ぎ部下部の中性化深さが一般側面部よりも大きくなった。これは打継ぎ部下部つまり1層目上部がブリーディングの影響により組織が粗になり易いため、中性化深さが大きくなる傾向があることに起因している。中でも試験体①、②の中性化深さが大きく、試験体⑧に比べると1.4～1.6倍程度となっている。処理材①、②は1層目表層の品質改善効果が期待されたが、従来处理よりも中性化抑制効果が小さい可能性が高いと考えられる。また、処理材③も1層目表層の品質改善効果が期待され、水密性については良好な結果が得られたが、中性化抵抗性については従来处理とほとんど変わらない結果となった。

試験体④～⑦は試験体⑧に比べて打継ぎ部上部の中性化深さが小さく、0.7～0.8程度であった。また、一般側面部の測定値とほぼ同じであることから、打継ぎ部上部（2層目下部）の品質を低下させない効果があると考えられる。

一般側面部の中性化深さはいずれの試験体もほぼ同じであり、ばらつきの少ない結果であった。

(2) 推定値との比較

試験体⑧の促進中性化試験1週、4週、8週の結果を用いて中性化予測との比較を行った。その結果を図-7 に示す。中性化の予測式として、CO₂濃度を考慮可能な魚本・高田式を用いた³⁾。魚本・高田式を式(3)に示す。

$$x = (2.804 - 0.847 \log C) \cdot e^{(8.748 - 2563/T)} \cdot (2.94W/C - 101.2) \times 10^{-2} \cdot \sqrt{C \cdot T_W} \quad (3)$$

表-4 中性化深さ測定結果

試験体番号	一般側面部 平均	打継ぎ部上 平均	打継ぎ部下 平均
①	12.6	22.9	30.0
②	13.2	15.9	26.8
③	13.0	16.1	18.2
④	12.7	12.8	18.2
⑤	13.9	12.0	14.9
⑥	13.4	12.0	16.8
⑦	13.0	14.4	18.2
⑧	12.9	17.3	18.5

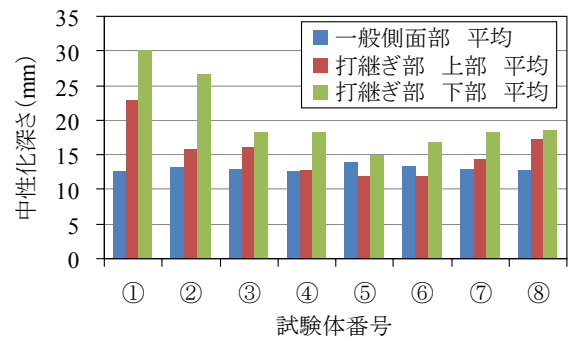


図-5 中性化深さの比較

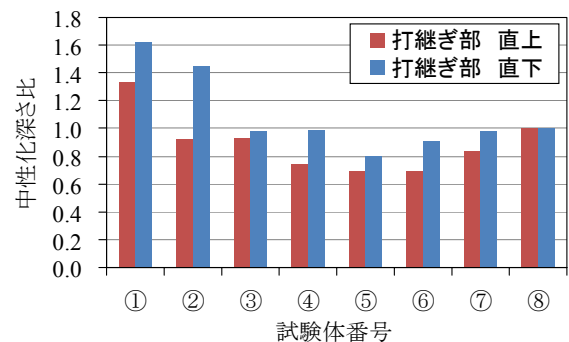


図-6 中性化深さ比の比較

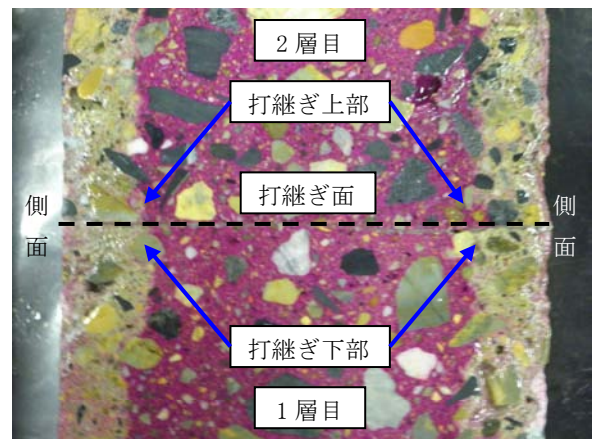


写真-2 中性化の状況と測定位置

ここで、 x :中性化深さ(mm), C :炭酸ガス濃度(%), T :絶対温度(K), W/C :水セメント比(%), T_w :経過時間(週)

一般側面部は魚本・高田式とほぼ一致し、一般的なコンクリートの中性化速度の範疇であることが確認され、試験体の品質に問題がないことも確認された。

それに対し、打継ぎ部上部および下部は、一般側面部よりも中性化速度が大きいことが明らかである。打継ぎ部下部はブリーディングの影響により品質が低下し、打継ぎ部上部は水分の逸散や充填性の低下が要因となり、品質が低下するものと考えられる。

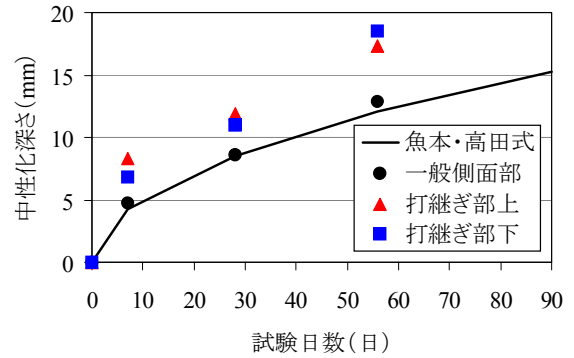


図-7 中性化の進行状況 (試験体⑧)

6. 接着試験結果

(1) 接着強度の比較

接着強度試験の結果を図-8, 図-9に示す。試験体番号「無し」は打継ぎのないコンクリートの引張試験結果である。なお、図-9の接着強度比とは、試験体⑧の接着強度に対する各試験体の接着強度の比を表している。

ここで、コンクリート標準示方書[設計編]から引張強度の設計値(式(4))を用いて、コンクリートの引張強度を求めた。

$$f_{tk} = 0.23 f'_{ck}{}^{2/3} \quad (4)$$

ここで、 f_{tk} :コンクリートの引張強度 (N/mm²),

f'_{ck} :コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

その結果、 $f_{tk} = 2.04 \text{N/mm}^2$ となった。ただし、圧縮強度は1層目と2層目の平均値 (26.4N/mm²)を用いた。

「打継ぎ無し」の測定値と設計値はほぼ合致しており、本試験で用いたコンクリートの引張強度は妥当な範囲であることが確認された。

「打継ぎ無し」の試験体を除いたすべての試験体において、設計値と比較して小さい値となった。特に試験体①および試験体③においては設計値の半分程度であった。試験体①および試験体③の打継ぎ処理材は1層目の表層を改善する処理材であるが、打継ぎ部の接着強度の向上にはほとんど寄与しないものと考えられる。同様な材料である試験体②は従来処理の試験体⑧に比べて接着強度がわずかに向上しており、処理材①, ③との相違が見られた。試験体⑤~⑦は1.5N/mm²以上の接着強度であり、「打継ぎ無し」の場合に比べれば小さいが、十分な強度があると考えられる。

(2) 破壊面

試験体①および③は試験体⑧と比較すると0.7~0.8程度の接着強度であり、打継ぎ部界面で破壊が見られた。

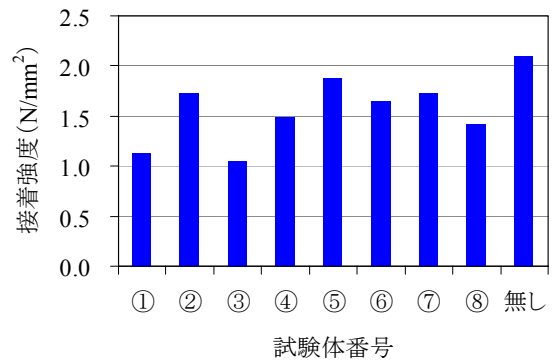


図-8 接着強度の比較

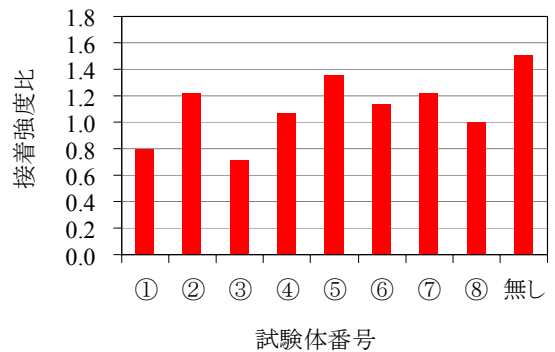


図-9 接着強度比の比較



写真-3 破壊面の状況 (試験体⑤)

表-5 打継ぎ処理材の評価

番号	打継ぎ処理材	処理方法	水密性	中性化	接着	施工性	従来処理との比較
①	ポリマーエマルション系	打込み後散布	×	×	×	◎	向上効果見られず
②	ポリマーエマルション系	打込み後散布	△	×	○	◎	接着強度向上
③	水和促進剤	従来処理後塗布	◎	△	×	○	水密性向上
④	ポリマーセメントモルタル系	従来処理後塗布	○	○	△	△	ほぼ平均的
⑤	ポリマーセメントモルタル系	従来処理後塗布	○	◎	○	△	全般的に性能向上
⑥	エポキシ樹脂系	従来処理後塗布	◎	○	○	○	全般的に性能向上
⑦	自己治癒型防水材	従来処理後塗布	◎	○	○	△	全般的に性能向上
⑧	従来処理 (チッピングのみ)	従来処理のみ	○	△	△	○	

※①②は後処理不要

試験体②および④～⑦は接着強度が試験体⑧に比べて向上しており、破壊位置は1層目上部（表層付近）であった（写真-5）。このことから、打継ぎ処理材が上下層を接着し、ブリーディングの影響を大きく受ける1層目上部で破壊したものと考えられる。

今回の試験では、品質が最も低下しやすい1層目表層付近からの破壊が大半を占めていた。そのため、打継ぎ処理材そのものの接着強度を正確に把握できたとは言い難い。よって、今後は強度の大きいコンクリートで再度試験を行い、打継ぎ処理材の接着強度を求めることが必要であると考ええる。

7. 打継ぎ処理材の評価

施工性を含めた打継ぎ処理材の評価を表-5に示す。なお、本試験によるデータのみでの評価であり、コンクリートの配合などが変われば必ずしも当てはまらない部分もある。ここで、水密性に関しては漏水の有無と流入量で評価した。中性化については一般側面部の中性化深さと比較して判断した。接着性については1.5N/mm²を目安とした。施工性について時間と手間を基準に判断した。

試験体①は従来処理と比較して性能の向上効果は全く見られなかった。試験体②は水密性のバラツキが大きいが接着強度は向上効果が見られたため、水密性をあまり要求されない構造物には使用できる可能性がある。試験体③については水密性は向上したが接着強度は小さかった。試験体④は従来処理の試験体⑧とほぼ同等の評価である。試験体⑤～⑦は従来処理と比較して打継ぎ部の耐久性向上効果があると判断される。

8. まとめ

今回の試験で得られた知見を以下に示す。

- ① 後処理不要の打継ぎ処理材は従来処理の試験体

よりも、水密性試験における流入量が大きく、漏水も見られた。水和促進剤およびエポキシ樹脂系材料は水密性が向上した。

- ② 打継ぎ部直下である1層目上部は、ブリーディングの影響により組織が粗になるため中性化深さが大きくなる傾向が見られた。
- ③ 後処理不要の打継ぎ処理材は従来処理の試験体よりも、打継ぎ部の中性化抑制効果が劣る可能性が高い。
- ④ ポリマーセメントモルタル系、エポキシ樹脂系の処理材は打継ぎ上部（2層目）の中性化を抑制する効果がある。
- ⑤ ポリマーエマルション系および水和促進剤系を除いて接着強度は従来処理よりも向上した。
- ⑥ 接着試験の破壊面はブリーディングの影響を受けやすい1層目コンクリート上部の品質が大きく影響する。
- ⑦ 従来処理においても適切な施工を行うことにより十分な性能が得られると考えられる。

謝辞：本報告において種々の実験やデータとりまとめを行っていただいた東京理科大学工学部土木工学科染谷望君に深く感謝いたします。また、適切なアドバイスを頂いた東京理科大学工学部土木工学科加藤佳孝准教授にこの場を借りて深謝いたします。

参考文献

- 1) 長井宏憲, 野口貴文, 越替裕彦, 長谷川和男: 有機表面処理剤を用いたコンクリート打継ぎ部の特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, 2007
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書〔設計編〕2007年制定, 2007
- 3) 魚本健人, 高田良章: コンクリートの中性化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451/V17, pp.119~128, 1992.8