

[1046] ポリマー超速硬セメントコンクリートの諸性状と現場への適用

正会員 大塩 明（小野田セメントセメント研究所）
 古田誠剛（小野田セメントセメント研究所）
 正会員 岡田光芳（小野田ケミコ CR 事業部）
 正会員 ○関野一男（小野田ケミコジェット事業部）

1. まえがき

橋梁、道路などのコンクリート構造物の補修材料として、ポリマー超速硬セメントコンクリートが用いられるようになってきた。ポリマー超速硬セメントコンクリートは、超速硬セメントとポリマーディスパージョンを用いて、骨材を結合したコンクリートであり、早期に強度を発現する超速硬セメントコンクリートに、ポリマーの特性を付与して性能改善を目指したものである[1]。

本報告は、ポリマー超速硬セメントコンクリートの諸性状を把握するために、ポリマーセメント比を変化させて実施した強度、乾燥収縮、水密性、耐摩耗性、塩素イオン浸透に対する抵抗性および耐薬品性の試験結果を、通常用いられているポリマー無混入の超速硬セメントコンクリート（以下、超速硬セメントコンクリートという）と比較検討したものである。さらに、これらの実験結果を踏まえて道路の薄層舗装工事に超速硬セメントコンクリートを適用した施工例を紹介する。

2. 使用材料および試験方法

2.1 使用材料

超速硬セメントは、○社製のジェットセメント、骨材は小笠産の山砂（比重 2.60, FM 2.70）および岩瀬産の碎石（比重 2.63, FM 7.16）を使用した。ポリマーディスパージョンは、スチレンブタジエンゴム（SBR）系ラテックスを使用した。減水剤として、ナフタリン系の高性能減水剤を、また、凝結遲延剤としてジェットセッターを用いた。

2.2 試験方法

- (1) コンクリートの配合および練り混ぜ；表-1 に示すように単位セメント量を 400 kg と一定にし、ポリマーセメント比（セメントに対するポリマーディスパージョン中の固形分の重量比）を 0.5, 10 および 20 % と変化させて、スランプ値が 12 cm ± 2.5 cm となるように単位水量を調製した。練り混ぜには、容量 50 ℥ の強制攪拌式ミキサを用いた。
- (2) 圧縮強度試験； $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の大きさの型枠で成形した後、材令 3, 6 および 24 時間まで型枠中（20 °C, 80 % R.H. の室内）で養生し、以後材令 7 日まで湿空（20 °C, 80 % R.H.）養生および乾燥（20 °C, 60 % R.H.）養生を行った。これを JIS A 1108 に準じて各材令で圧縮強度試験を行った。（以下、湿空・乾燥養生は、上記に示した温度・湿度とする。）
- (3) 曲げ強度試験； $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の大きさの型枠で成形した後、材令 3, 6 および 24 時間まで型枠中で養生し、以後材令 7 日までは湿空養生を行った。これを JIS A 1106 に準じて、各材令で曲げ強度試験を実施した。
- (4) 純引張強度試験；図-1 に示すように、中央部の断面の小さい $10 \times 10 \times 19.5 \text{ cm}$ の大きさの型枠で成形した後、材令 3, 6 および 24 時間まで型枠中で養生し、以後材令 7 日までは乾燥養生および湿空養生を行った。各材令の供試体には、幅 5 mm 深さ 10 mm の切り欠きを設け、その中央部表面の引張方面に、長さ 20 mm のワイヤストレインゲージを貼付けて、引張ひずみおよび引張強度を測定した。

表-1 ポリマー超速硬セメントコンクリートの配合

配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	スラブ 厚さ (cm)	空気 量 (%)	水セメント比 (%)	細骨 材 (%)	ポリマ ーセメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)				選択 利 (cc × %)
							セメント	水	砂	利	
超速硬セメント コンクリート			3.0	39	44	0	400	156	785	988	0.2・2.0
ポリマー 超速硬セメント コンクリート	20	12	3.5	36	44	5	400	144	776	976	0.2・2.0
			3.2	34	43	10	400	136	745	976	0.2・2.0
			2.2	32	42	20	400	128	692	945	0.2・2.0

(5) 乾燥収縮試験；JIS A 1129 のコンパレーター方法に従って、寸法 $10 \times 10 \times 40$ cm の供試体について、長さ変化試験を行った。なお、成形後、1日型枠養生後を基長として、乾燥 (20°C , 60% R.H.) 材令 2ヶ月まで測定した。

(6) 透水試験； $\phi 15 \times 10$ cm の大きさの型枠で成形し、1日型枠中 6日乾燥養生を行った後、透水試験を行った。透水試験は、供試体下面に 5 kgf/cm^2 の水圧を 1週間加え、透水量を測定するインプット方法による装置を用い、また、供試体測面にエポキシ樹脂を塗布して、側面からの浸透水の流出を防いだ。

(7) すりへり試験；試験面 ($20 \text{ cm} \times 33.5 \text{ cm}$) $\times 25 \text{ cm}$ 高さ 10 cm の台形状の型枠で成形した後、材令 6時間および 24時間の材令まで型枠中で養生した。すりへり試験は、各材令の供試体を回転盤に静置させ、130 r.p.m で回転させると同時に、散水下でスパイクタイヤで走行させる回転すりへり試験機で実施した。所定時間の回転後、ダイヤルゲージで 27 点計測した深さを平均し、すりへり深さを求めた。

(8) 接着強度試験；被接着体コンクリートは、 $\phi 15 \times 30$ cm の型枠を用いて、半円柱状に成形し、1日湿空 27 日水中養生後、 20°C , 80% R.H. の恒温室で 1日放置したものとした。 $\phi 15 \times 30$ cm の型枠に静置した被接着体コンクリートと供試体とを打ち継ぐ方法で成形し、材令 3, 6 および 24 時間まで型枠中で養生、以後材令 7 日まで乾燥養生を行い、各材令で割裂試験による接着強度を測定した。

(9) 塩素イオン浸透に対する抵抗性に関する試験； $\phi 10 \times 20$ cm の大きさの型枠で成形し、1日型枠中 6日乾燥養生を行った後、ASTM D 1141 (Standard Specification for Substitute Ocean Water) に準じて、7日ごとに交換した人工海水 (Cl^- 濃度 1.7%) へ 28 日間浸漬した。この供試体の重量を測定した後、供試体を二分割し、その断面に 0.1% フルオレッセインナトリウム水溶液および 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧して、図-2 に示す 10箇所の塩素イオン浸透深さを測定した。

(10) 耐薬品性試験； $\phi 10 \times 20$ cm の型枠で成形(但し、ポリマーセメント比 0, 10 および 20%)し、1日型枠中 6日乾燥養生を行い、供試体の重量を測定した後、2% 塩酸、5% 硫酸および 45% 水酸化ナトリウムに、28日間浸漬した。試験液の量は、供試体 1個に対して 2.4ℓ とし、2% 塩酸および 5% 硫酸は、3日ごとに交換した。28日間浸漬後、試験液から取り出し、供試体は、浸食されてせい弱化した部分を取り除き、水道水で洗浄して乾燥した布でふきとり、供試体の重量を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

ポリマー超速硬セメントコンクリートと超速硬セメントコンクリートの圧縮強度と材令の関係を図-3 に示す。ポリマー超速硬セメントコンクリートは、ポリマーディスページョンの混入により、単位水量が減少するが、材令 3, 6 および 24 時間の圧縮強度は、いず

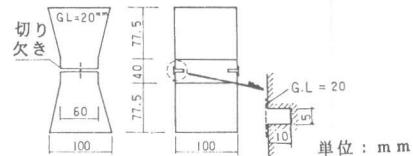
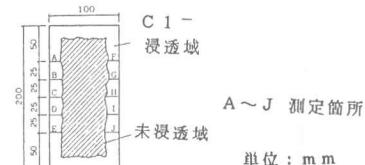


図-1 供試体の形状

図-2 供試体における塩素イオン
浸透深さの測定箇所

れのポリマーセメント比においても、超速硬セメントコンクリートのそれよりも小さい値となっている。しかし、材令7日のポリマーセメント比5%の場合には、乾燥養生および湿空養生において、超速硬セメントコンクリートのそれよりも、わずかに高い値を示している。

3.2 曲げ強度

ポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの曲げ強度と材令の関係を図-4に示す。ポリマーセメント比5%を混入したポリマー超速硬セメントコンクリートの材令6時間以降の曲げ強度は、超速硬セメントコンクリートのそれと比べて増大し、ポリマーディスパージョンの混入効果を示しているが、ポリマーセメント比10%および20%とした場合には、強度の増大は認められない。しかし、圧縮強度に対する曲げ強度比で比較すると、例えば、3時間材令の場合、超速硬セメントコンクリートが0.15に対してポリマーセメント比20%を混入したポリマー超速硬セメントコンクリートは0.22となり、その比率はポリマーを混入することにより大幅に改善される。

3.3 引張強度

ポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの引張強度と材令の関係を図-5に示す。ポリマー超速硬セメントコンクリートの引張強度は、ポリマーセメント比5%では、材令6時間、24時間および乾燥養生を行った材令7日において、超速硬セメントコンクリートのそれよりも大きくなり、また、ポリマーセメント比10%および20%の場合についても、乾燥養生を6日間行うと、ポリマーディスパージョン混入による改善効果が見られる。

3.4 伸び能力

乾燥養生を行った材令7日のポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの引張応力-ひずみ曲線を図-6、最大引張ひずみとポリマーセメント比の関係を図-7に示した。これらの図から、ポリマー超速硬セメントコンクリートの伸び能力は、ポリマーセメント比の増加とともに、顕著に増大する傾向が認められ、ポリマーセメント比20%とした場合には、ポリマー無混入

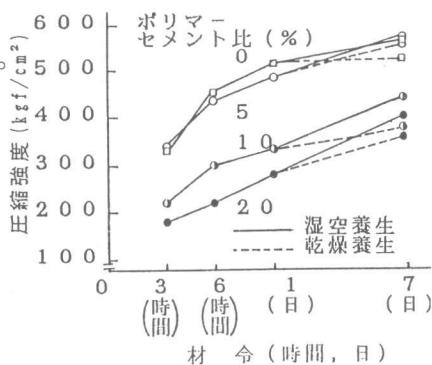


図-3 ポリマー超速硬セメントコンクリートの圧縮強度と材令の関係

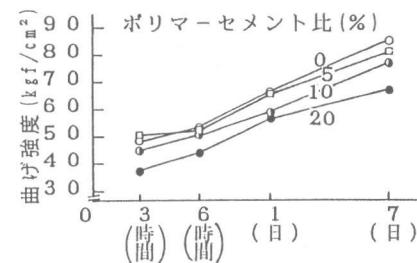


図-4 ポリマー超速硬セメントコンクリートの曲げ強度と材令の関係

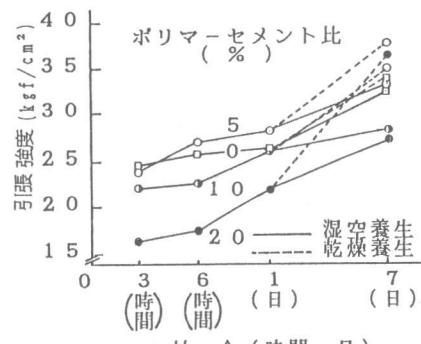


図-5 ポリマー超速硬セメントコンクリートの引張強度と材令の関係

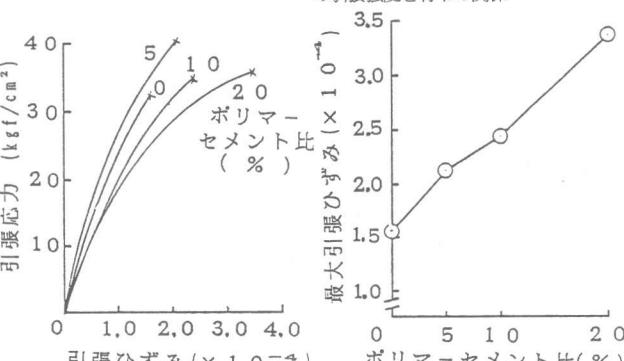


図-6 ポリマー超速硬セメントコンクリートの引張応力と引張ひずみの関係

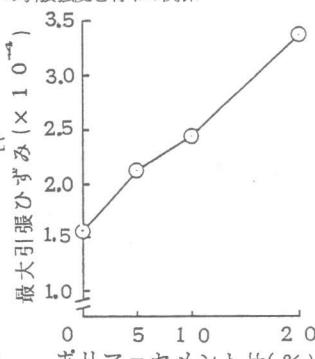


図-7 最大引張ひずみとポリマーセメント比の関係

コンクリートの約2倍の伸び能力を持つことがわかる。

3.5 乾燥収縮

材令1日を基長にしたポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの乾燥収縮を図-8に示す。ポリマー超速硬セメントコンクリートの乾燥収縮は、乾燥材令2ヶ月において、ポリマーセメント比0%で 4.4×10^{-4} , 5%で 2.8×10^{-4} , 10%で 2.5×10^{-4} および20%で 2.2×10^{-4} となり、ポリマーセメント比の増大に伴い、低減する傾向を示している。これは、ポリマーディスページョンの混入による減水効果および保水性の向上によるものと推察される。

3.6 水密性

ポリマー超速硬セメントコンクリートのポリマーセメント比と透水比の関係を図-9に示す。ポリマー超速硬セメントコンクリートの透水比は、ポリマーセメント比の増大に伴い、格段と低下し、ポリマーセメント比20%では、ポリマー無混入超速硬セメントコンクリートのそれと比較して、14%程度となり、水密性の改善効果が認められる。これは、ポリマー超速硬セメントコンクリートの内部に形成される強固なポリマーフィルムの形成によるものと推察される。

3.7 接着強度

ポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの接着強度を図-10に示す。ポリマー超速硬セメントコンクリートの接着強度は、ポリマーセメント比にかかわらず、材令の経過に伴い、増大している。ポリマーセメント比10%の場合の接着強度は、材令3時間および6時間で、ポリマー無混入超速硬セメントコンクリートのそれと比べて、約2倍の $13\sim14\text{kgf/cm}^2$ となり、材令7日では、最も高い 15kgf/cm^2 を示している。これは、ポリマー自体の優秀な接着性が相当に寄与しているものと考えられる。

3.8 耐海水性

28日間人工海水に浸漬したポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの重量変化率および塩素イオン浸透深さとポリマーセメント比の関係を図-11に示す。人工海水に浸漬したポリマー超速硬セメントコンクリートおよびポリマー無混入超速硬セメントコ

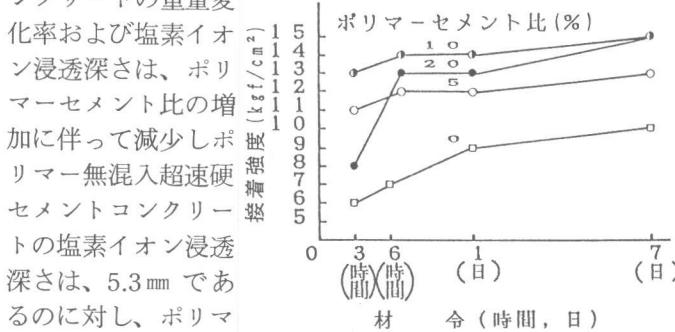


図-10 ポリマー超速硬セメントコンクリートの接着強度

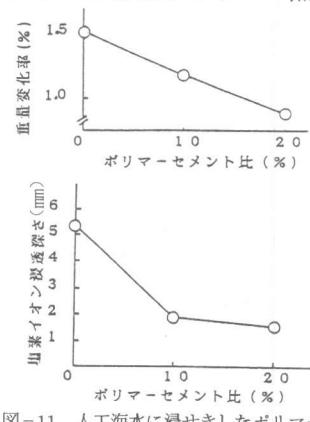


図-11 人工海水に浸せきしたポリマー超速硬セメントコンクリートの重量変化率及び塩素イオン浸透深さとポリマーセメント比の関係

は、ポリマーを混入した普通セメントコンクリートと同様に〔2〕、ポリマーセメント比の増加に伴って、コンクリート中のポリマー量が増加し、その内部に形成されるポリマーフィルムが海水に対する抵抗性を改善したものと考えられる。

3.9 すりへり抵抗性

6時間および24時間養生したポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートについて、3, 6および12時間のすりへり試験を行った後のすりへり平均深さの測定結果を図-12に示す。

ポリマー超速硬セメントコンクリートのすりへり深さは、ポリマーセメント比にかかわらず、養生時間が長いもの程、低減する傾向にある。これは、材令の経過に伴い、コンクリートの強度が増進するため、すりへり抵抗が増大したためと考えられる。養生24時間の場合、ポリマー混入量が多いもの程、すりへり深さが大きくなっているが、これは、ポリマーセメント比の増大に伴い、ポリマ

ーによる遅延効果が大きく作用し、強度発現が小さくなるためである。一方、材令6時間の場合には、図-3に示したように、ポリマー無混入超速硬セメントコンクリートとポリマーセメント比5%のポリマー超速硬セメントコンクリートの圧縮強度は、ほぼ同程度であるので、ポリマーディスページョンの混入により、超速硬セメントコンクリートのすりへりが、多少改善されたと推察される。

3.10 耐薬品性

2%塩酸、5%硫酸および45%水酸化ナトリウム水溶液に28日間浸漬したポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの重量変化率を表-2に示す。2%塩酸および5%硫酸に浸漬したポリマー超速硬セメントコンクリートの重量変化率は、ポリマーセメント比の増加に伴って低減し、ポリマーセメント比20%では、超速硬セメントコンクリートのそれと比較して、塩酸で40%，硫酸で20%程度になる。これは、コンクリート表面から浸食されても、ポリマー組織が残存しているため、その浸食が進行しないものと思われる。45%水酸化ナトリウム水溶液に浸漬したポリマー超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートは、アルカリに対する抵抗性の優秀さが認められる。

4. 道路の薄層舗装工事

ポリマーセメントモルタルおよびコンクリートを用いた舗装は、以前からアメリカにおいて施工性および性能面で高く評価され、種々の現場で用いられていた〔3〕〔4〕。一方、日本においても、ポリマーセメントモルタルは、多くの施工実績を持つとともに、最近では、海岸地域のコンクリート構造物における塩分の浸透防止のための有利な材料として注目をあびている。本施工例は、日本において最初のポリマー混入超速硬セメントコンクリートを用いた北海道国道5号線の道路補修工事（工事名；国道5号線森町富士見舗装修繕工事；昭和60年度および61年度秋期に施工）である。北海道では、特に、冬期のスパイクタイヤによるわだち掘れが多く見られる。国道5号線に

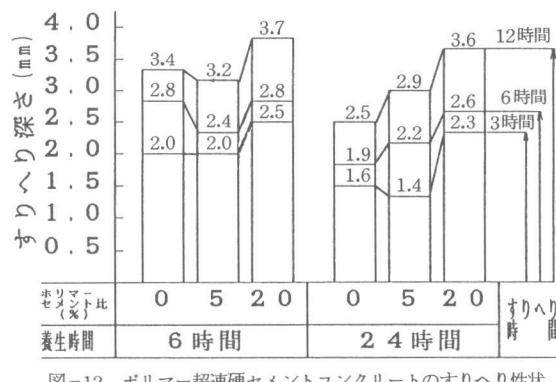


図-12 ポリマー超速硬セメントコンクリートのすりへり性状

表-2 28日間塩酸、硫酸及び水酸化ナトリウムに浸せきしたポリマー超速硬セメントコンクリートの重量変化率とポリマーセメント比の関係

試験液 の種類	重量変化率(%) (ポリマーセメント比)		
	0	10	20
2% 塩酸	-16.5	-12.8	-6.6
5% 硫酸	-3.5	-1.0	-0.6
45% 水酸化ナトリウム	-0.1	+0.2	+0.3

表-3 コンクリートの所要条件

所要強度	材令7時間の圧縮強度 300kgf/cm ²
スランプ [°]	8cm±3cm
粗骨材の最大寸法	20mmまたは 25mmの碎石

表-4 ポリマー超速硬セメントコンクリートの現場配合

水セメント比(%)	単位量(kg/m ³)						
	セメント	水	砂	砂利	減水剤	遮断剤	ポリマー
37	370	137	784	1227	7.4	0.74	37
35	400	138	784	1221	8.0	0.80	40

表-5 コンクリートの品質試験結果例

セメント量	370 (kg/m ³)	400 (kg/m ³)
試験結果		
外気温(°C)	7	24
スランプ(cm)	9.5	10.0
7時間の圧縮強度	354	355

なお、セメント400 kg/m³の配合は、低時間に用いる。

おいても、約5cmの深さのわだち掘れが、道路の両車線に相当多くできており、交通に支障をきたしているのが現状である。ポリマー超速硬セメントコンクリートによる補修箇所は、比較的交通量が多く、かつ、道路開放まで時間的余裕がない交差点付近、ガソリンスタンドおよび修理工場の出入口に面した道路の2,893m²（全施工面積）である。本現場の交通規制時間は、約10時間であり、施工方法として既設コンクリートを約5cm深さに一様に切削し、ショットブラスト処理を行った後に、ポリマー超速硬セメントコンクリートを約5cm厚で打設し、振動機による締め固め、コテ仕上げならびにほう木目の表面仕上げを行う方法で行った。なお、コンクリートの所要条件、ポリマー超速硬セメントコンクリートの現場配合、現場でのコンクリートの品質試験結果例を表-3～表-5、施工状況を写真-1に示す。

ポリマー超速硬セメントコンクリートは、(1)早期に道路開放 (2)接着性 (3)小さな乾燥収縮 (4)耐摩耗性 (5)施工性などの道路修繕工事に要求される性能を満たし、本現場においても施工後1年余り経過した現在、健全な状態を保っている。

5. 結論

ポリマー超速硬セメントコンクリートは、通常の超速硬セメントコンクリートと比べて、ポリマーセメント比5%程度で曲げ強度および引張強度、若材令の耐摩耗性を増進させ、さらに、引張変形能力、接着性、塩素イオン浸透に対する抵抗性および耐薬品性について著しく改善し、乾燥収縮を低減させるなど、性能面で大幅に超速硬セメントコンクリートを向上させる。道路の薄層舗装工事においても、それらの優れた性能を発揮したことから、今後、道路補修材、海岸地域のコンクリート構造物の補修材などへポリマー超速硬セメントコンクリートが広く使用されることが期待される。

謝辞：最後に、本論文をまとめるに当たり、懇切丁寧なご教示を賜った北海道開発局函館開発建設部ならびに大林道路株式会社 札幌支店の方々に、また、SBR ラテックス系ポリマー・ディスページョンの適用に関して貴重なご助言を頂いた日本大学 大浜嘉彦教授 に心から感謝する次第である。

参考文献

- [1] 岡田光芳ほか 2 名：鋼纖維補強超速硬セメントコンクリートの基礎的性質，セメント技術年報, pp 373–376, 1984。
 - [2] 大浜嘉彦ほか 2 名：ポリマーセメントコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性, コンクリート工学年次講演会, pp 93–96, 1985。
 - [3] Rawlings, E.G., Latex-Cement Road Surfacings, Rubber Developments, V. 12, No. 3, pp. 99–97, 1959.
 - [4] Steel, G.W., and Judy, J.W., Polymer-Modified Concretes in Bridge Deck Overlay Systems, ASTM Special Technical Publication 629, pp.110–115, 1977.



写真-1 ポリマー超速硬セメントコンクリートの施工状況