

## 論文 早期交通開放可能型舗装用コンクリートに関する研究

増山 直樹<sup>\*1</sup>・瀧井 秀一<sup>\*2</sup>・新 大軌<sup>\*3</sup>・岡本 享久<sup>\*4</sup>

**要旨:** コンクリート舗装では長期養生が必要となることが、普及への最大の弊害となっている。そこで、早期強度を得つつ、良好な作業時間を確保できるコンクリートの開発を行なった。これまでの研究より、早強セメントを使用し、亜硝酸系硬化促進剤、ポリカルボン酸系減水剤とメラミン系減水剤を併用することで、作業性・強度発現性をともに確保できることが明らかとなっている。今回は実用性を重視した舗装用コンクリートへの適用について実験を通して評価した上で、実施工実験を行った。その結果、生コンの運搬時、作業時にも問題なく、材齢 1 日での目標曲げ強度  $3.2\text{N/mm}^2$  を確保することができた。

**キーワード:** コンクリート舗装, 早期強度, 可使時間, スランプ, 混和剤, 生コン舗装

### 1. はじめに

現在の日本の道路舗装は、アスファルト舗装が一般的であり、コンクリート舗装が占める割合は全体のわずか 5% 程度である。そのコンクリート舗装普及の弊害は、施工に手間がかかる、初期コストが高いなどの要因が挙げられるが、養生が必要であり交通開放までに時間を要することが一番の原因であると言われている。

しかし、コンクリート舗装は耐久性が高い、ライフサイクルで考えるとアスファルト舗装よりもコストを抑えることが出来、大型車では燃費が向上するなどのメリットも多々ある。

### 2. コンクリート舗装の流れ<sup>1),2)</sup>

コンクリート舗装が実際の道路に使われるようになったのは 1930 年前後からである。そして 1950 年代に最盛期を迎え、その後はアスファルト舗装に追いやられる形となっている。戦後、日本が急速に発展していった中、即座に施工ができるアスファルト舗装が時代に合っていたという部分もあるだろう。また、アスファルトが安価で安定的に供給が可能となったことも理由の一つである。

1960 年代以降は、ほとんどがコンクリート舗装の耐久性や視認性の良さといった特徴を活かす事の出来る場所（つまりトンネル内の舗装）にのみ施工されている場合が多い。

その後 1990 年頃、新技術として転圧コンクリート舗装が施工されるようになった。アスファルト舗装で使用する機械を使用し施工でき、それまでのコンクリート舗装に比べ早期交通開放が可能となったが、散水による湿潤養生は、普通ポルトランドセメントを使用した場合 3 日間、早強ポルトセメントを使用しても 1 日間の養生が

必要である。

また、緊急時の補修工事などでは超速硬コンクリートが用いられる事もあるが、 $1\text{m}^3$  当り十数万円程度とコストが非常に高く、中・大規模工事には向かない。

そこで、コストを抑えつつコンクリートの養生期間の短縮に向け、混和剤を使用し改善することを試みた。これまでのコンクリートの性能向上は混和剤の発展によるところが非常に大きい。ワーカビリティや耐久性の向上に用いられる AE 剤、単位水量低減のための減水剤、さらには大幅に単位水量を低減することができ、高強度コンクリートには必要不可欠である高性能 AE 減水剤など、コンクリートの高性能化には必要不可欠なものばかりである。

### 3. これまでの成果<sup>3)</sup>

本研究では、これまでに 2 種類の減水剤と硬化促進剤を三種混合することで、比較的安価で早期交通開放可能な舗装用コンクリートを施工可能であることがわかっている。これまでの研究では硬練りコンクリートでの施工を想定していたため、練上がりのコンクリートはスランプの低いものとなっていた。しかし、今回報告する実施工実験では、生コン舗装で行うことが事前に決定していた。そこで、硬練りコンクリート用配合から、生コン用コンクリート配合への配合の改善を行った。

### 4. 実施工に向けた配合調整

#### 4.1 フレッシュ性状の経時変化に関する検討

##### (1) 実験概要

使用材料を表-1、ダム堆砂物性を表-2、示方配合を表-3 に示す。

\*1 立命館大学大学院 理工学研究科 創造理工学専攻 (学生会員)

\*2 立命館大学大学院 理工学研究科 創造理工学専攻 (学生会員)

\*3 東京工業大学大学院 理工学研究科 材料工学専攻助教 (正会員)

\*4 立命館大学 理工学部環境システム工学科教授 工博 (正会員)

これまでの実験<sup>3)</sup>では運搬時間を考慮していなかったが、実施工を見越したアジテータ車による90分間の運搬時間を考慮し、練り混ぜ90分後でのスランプが $8\pm 2.5\text{cm}$ を目標とした。空気量はこれまで考慮していなかったが今回流動性の経時変化が重要となるためAE剤を初めて使用した。そのため、AE剤の添加量も変化させ考察を行う。試験項目及び試験方法は表-4の通りである。日本工業規格にある「レディーミクストコンクリート(JIS A 5308)」に基づき、実験を行った。

セメントは早強セメント、細骨材には分級洗浄ダム堆砂を使用した。表-2を見てわかるとおり、未洗浄でのダム堆砂ではJISの付属書の規格を満たすことができないが、分級洗浄を行うことにより付属書の規格を満たしている。

また、ダム堆砂を使用する狙いとしては、通常廃棄処分されてきたダム堆砂をコンクリート舗装分野でリサイクル使用することによって、ダム堆砂の新たな用途・価値を見出し、細骨材供給における使用材料コストの低減効果を見出すことにある。

## (2) 実験結果

図-1に20℃のスランプの経時変化、図-2に5℃のスランプの経時変化、表-5に空気量の結果を示す。

20℃環境下においてNo.3が目標を到達できたことがわかる。No.2においても目標に近いスランプ値・スランプ経時変化となった。

表-1 使用材料

材料	略記	名称	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
水	W	上水道水	1.00
セメント	C	早強ポルトランドセメント	3.14
細骨材	S	分級洗浄ダム堆砂	2.57
粗骨材	G	砕石 2005	2.66
混和剤	Ad1	メラミン系減水剤	---
	Ad2	ポリカル系減水剤	---
	Ad3	亜硝酸系硬化促進剤	---
	Ad4	AE剤	---

表-2 ダム堆積砂物性値

試験項目	未洗浄	分級洗浄	JIS A 5308 付属書 A
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.43	2.57	---
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.30	2.53	2.50 以上
吸水率 (%)	5.79	1.68	3.50 以下
微粒分量 (%)	5.92	0.30	3.00 以下
粗粒率 (FM)	2.79	2.86	---
有機不純物試験	濃い	薄い	薄い

表-3 フレッシュ性状用示方配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				添加量(C×%)				温度 (°C)
				W	C	S	G	Ad1	Ad2	Ad3	Ad4	
1	40	40	4.5	170	425	688	1068	2.4	1.5	7.5	0	20±2
2								2.1	1.5		2A	
3								1.5	2.1		2A	
4								2.4	3.5		5A	
5								2.1	1.5		2A	
6								1.5	2.0		2A	5±2

表-4 試験項目と試験方法

分類	項目	試験方法
フレッシュ性状 確認試験	スランプ試験	JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法
	空気量試験	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法
強度試験	曲げ強度試験	JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法
	圧縮強度試験	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法

この実験により、ある程度のスランプロスを計算した上で、初期におけるセメント分散能力を持つポリカルボン酸系減水剤を多めに添加し、初期におけるセメント分散を促す方法が妥当であると考えられる。

次に 5℃環境下の実験結果では No.5 が目標を到達していることがわかる。しかし、No.6 においては、練り混ぜ直後のスランプが大幅に落ち込み、目標を到達できなかった。低温の影響により、エーテル鎖長が長く低遅延効果のあるポリカル系減水剤の性能が落ち、またスランプロスが小さいことから、初期セメント分散性能が後から効果を発揮したと考えられる。空気量は添加量に対して大きな変化が見られず、所定分混入できなかった。

#### 4.2 早期強度の確保

##### (1) 実験概要

4.1 節の実験より、おおよそのスランプの経時変化を予測することができた。しかし、各種減水剤の添加比率の変化によって、初期強度発現に問題が生じる可能性がある。そこで示方配合を表-6 のようにし、20℃環境下及び 5℃環境下での室内実験で初期強度の発現を確認した。使用材料は表-1、試験項目及び試験方法は表-4 と同様である。供試体寸法は、曲げ供試体 10×10×40cm である。

コンクリート版の設計曲げ強度は材齢 28 日で 4.5N/mm<sup>2</sup> と設定されている。また、「湿潤養生は、現場養生を行ったコンクリート供試体の曲げ強度が所要の値以上に達するまで行わなければならない。配合強度の 7 割に達するまでを養生期間とするのが適切と考えられる<sup>4)</sup>とされている。これらより交通解放までの時間、つまり養生終了（目標強度到達）は、28 日曲げ強度 (4.5N/mm<sup>2</sup>) × 安全係数 (1.1 倍) の 70% である 3.47N/mm<sup>2</sup> とした。

##### (2) 実験結果

図-3 に曲げ強度、表-7 にフレッシュ性状の結果を示す。

環境下 20℃において、すべての供試体が材齢 12 時間で曲げ強度において材齢 1 日の目標を到達できたことが

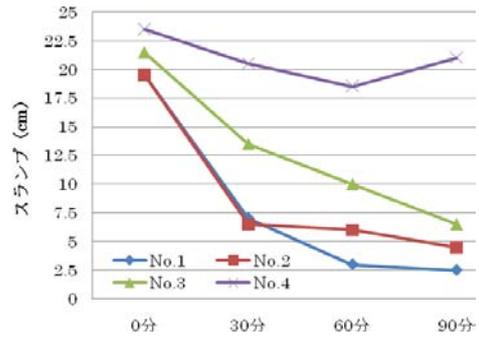


図-1 20℃でのスランプ経時変化

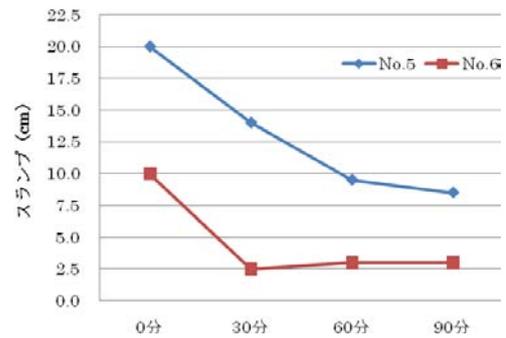


図-2 5℃でのスランプの経時変化

表-5 空気量測定結果

No.	1	2	3	4	5	6
Air(%)	1.1	1.4	1.0	1.5	1.3	2.0

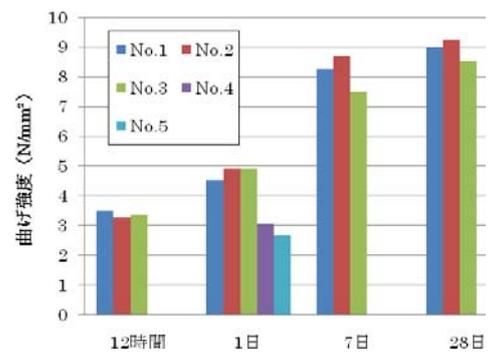


図-3 曲げ強度結果

表-6 強度用示方配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				添加量 (C x %)				温度 (°C)
				W	C	S	G	Ad1	Ad2	Ad3	Ad4	
1	40	40	4.5	170	425	688	1068	1.5	2.1	7.5	5A	20±2
2								2.0	3.0	8.0	5A	
3								2.1	1.7	7.5	5A	
4								2.1	1.5	7.5	2A	
5								1.5	2.0	7.5	2A	

分かる。また材齢1日では、コンクリート舗装用設計曲げ強度 4.5N/mm<sup>2</sup>を超えるという結果が得られた。

環境下 5℃では、低温の影響により水和反応が遅れたため強度が低下したと考えられる。材齢1日でも目標曲げ強度に到達できなかった。フレッシュ性状の測定結果では 4.1 節同様所定の空気量が混入できなかった。

表-7 フレッシュ性状測定結果

供試体 No.	スランプ (cm)	空気量 (%)
1	19.5	1.0
2	23.0	1.0
3	20.0	1.5

#### 4.3 室内試験まとめ

- ①フレッシュ性状の実験より、練上がりでの初期スランプを高く設定し、ある程度のスランプロスを見込んで配合を設定する必要がある。
- ②室内試験より、混和剤の添加量をおおよそ、Ad1 を 1.5%、Ad2 を 2.1%、Ad3 を 7.5%、Ad4 を 5 A 添加することで、実用化に向けた流動性・早期強度・可使用時間の3点において目標を満足できることがわかった。
- ③環境下 5℃では、各種混和剤に影響が生じ、水和反応、フレッシュ性状、強度発現に影響が出る。
- ④これまでの研究同様<sup>3)</sup>各種混和剤の添加量により調整することで、フレッシュ性状、強度発現に大きく左右されることがわかった。
- ⑤細骨材にダム堆砂を使用してもフレッシュ性状、強度発現ともに問題なく使用できる。

#### 5. 実施工試験

4 章での室内試験の結果を用いて、京都府宇治川流域横大路地区堤防強化工事を実施し、分級洗浄ダム堆砂を用いた本研究配合舗装として、施工性および耐久性を確認することでその有用性の検討を行った。

##### 5.1 実施工概要

使用材料は表-1 と同様、施工フローを図-4 に示す。施工場所は京都府宇治川流域横大路地区堤防天端であり、2011 年 2 月 16 日 (火) 11 時 30 分から行われた。天候は晴れ、外気温は約 10℃、施工規模は延長 30m×幅員 3 m、目地間隔は 5m、舗装構成は水硬性粒調スラグ 10 cm + 本研究開発生コン舗装 15 cm でそれぞれ行った。

##### 5.2 試験施工配合

出荷配合を表-8 に示す。出荷配合は、4 章での実験

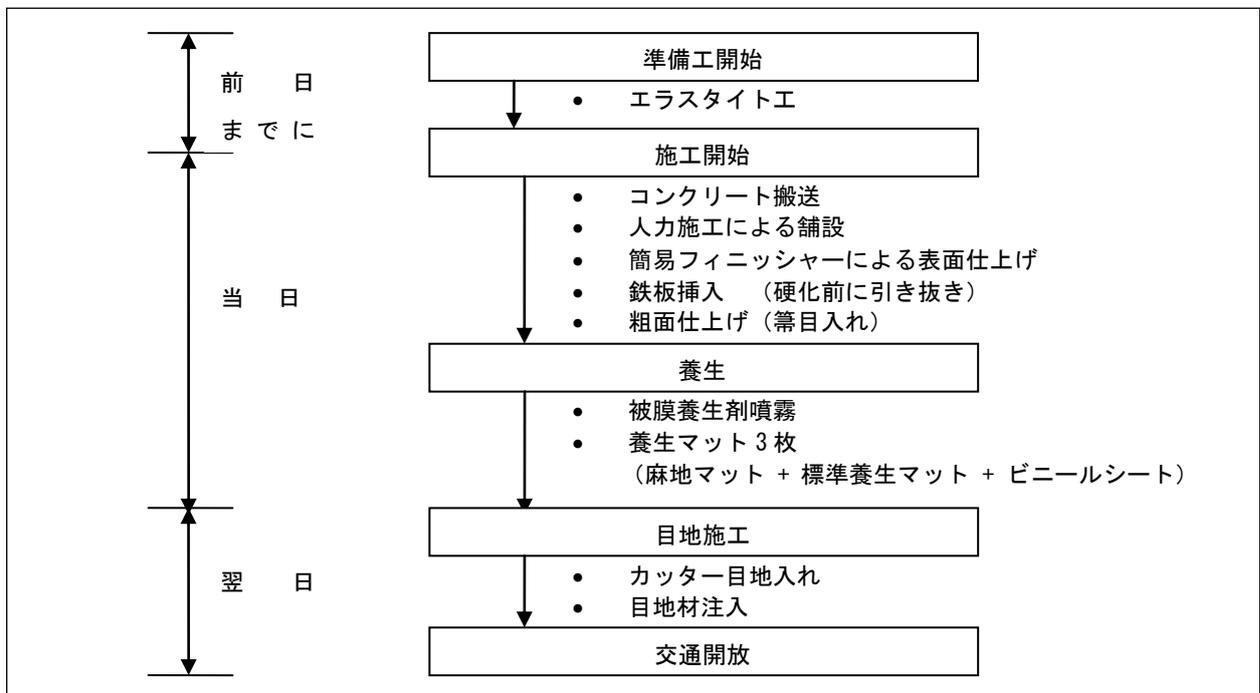


図-4 施工フロー

表-8 出荷配合

W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				添加量 (C × %)			
			W	C	S	G	Ad1	Ad2	Ad3	Ad4
40	40	4.5	170	425	688	1068	1.5	2.35	7.5	5A



写真-1 荷下ろし・敷き均し



写真-2 表面仕上げ(箒目)



写真-3 目地注入



写真-4 養生マット

での目標性状に一番近い配合と強度を発現した表-3 の No.3 及び、表-6 の No.1 を参照し、図-1 のスランブの経時変化では 90 分後の流動性が若干低いものとなったため、流動性を高めるため Ad2 は 2.35% として定めた。

### 5.3 試験施工状況

本研究コンクリート舗装の試験施工状況を写真 1~4 に示す。

本研究コンクリートの現場着（練り上がり約 60 分後）スランブは 10.5cm、空気量は 4.9% で目標フレッシュ性状を満足した。また、本試験施工は人力施工→簡易フィニッシャーによる表面仕上げの手順であったが、作業性に関しての問題は出なかった。

養生は散水養生ではなく、養生マットでのみ行い、詳細は図-4 の通りである。

### 5.4 早期強度の確保

図-5 に曲げ強度結果を示す。

供試体は練り上がり直後に採取し、屋外放置条件下（6~12℃）で、材齢 12 時間・1 日・7 日・28 日において、強度測定を行った。室内養生との違いは温度の変化のみで、試験方法は 4 章と同様である。屋外の当日気温は低温であったが、材齢 1 日での曲げ強度は、3.55N/mm<sup>2</sup>

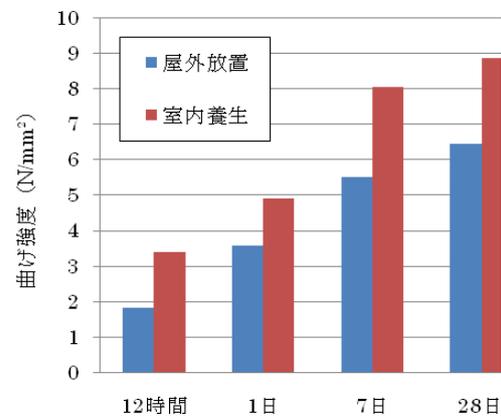


図-5 曲げ強度結果(実施工)

で目標とした 3.47N/mm<sup>2</sup> という曲げ強度を確保することができた。

### 5.5 試験施工まとめ

- ①出荷および現場作業性において、問題は確認されなかった。
- ②本研究の舗装用コンクリートを用いることでフレッシュ性状及び、早期強度を確保することは可能である。
- ③4 章同様、洗浄ダム堆砂を使用しても問題は確認されなかった。

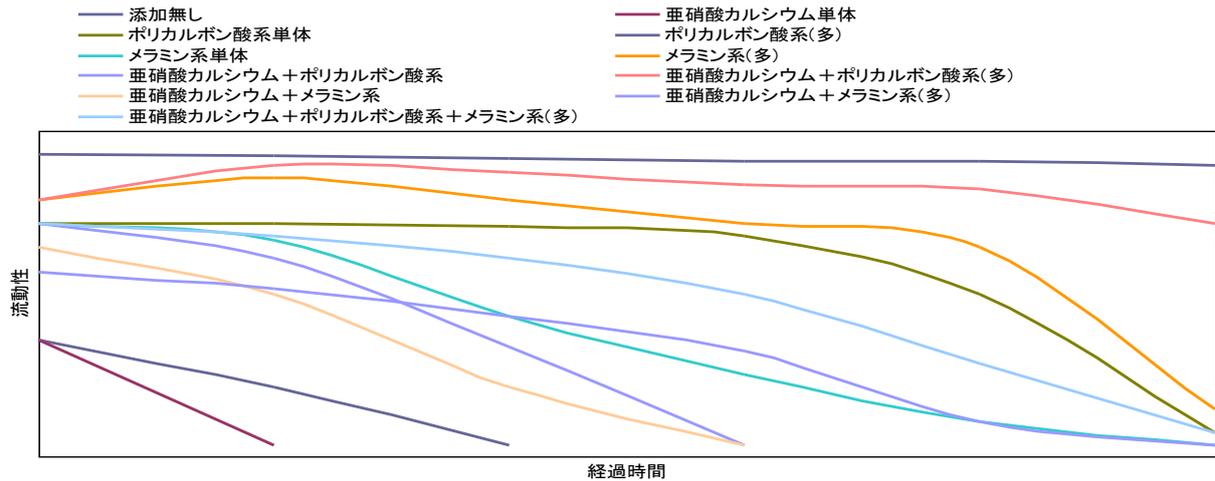


図-6 流動性の経時変化に関する概念図

### 6. 本研究配合のメカニズム

これまでの研究より、亜硝酸系硬化促進剤を添加すると硬化促進効果が得られるが、用いる減水剤、添加量により練混ぜ後の性状に大きく違いが現れ、おおよそ図-6のような概念をとることが明らかとなった。詳細については不明な点も多いが、以下にそのメカニズムを考察した。

ポリカルボン酸系減水剤は図-7のように主鎖がセメントに吸着し、側鎖が水中に広がり立体的な分散保護膜を形成した形態をとっており<sup>5)</sup>、立体障害効果によって高い流動性を発現することが知られている。通常はスランプロスしにくい、本研究では亜硝酸系硬化促進剤と併用すると15~30分程度で流動性が低下しており、これは亜硝酸系硬化促進剤によってセメント中のエーライトおよびビーライトの水和反応が促進され<sup>5)</sup>、溶液中の水酸化カルシウムの過飽和度が高められて凝結が促進され、スランプロスが激しくなったと考えられる。

一方、メラミン系減水剤の場合は、図-8のように通常使用だと直鎖型で剛直な構造をしているため、水和物に減水剤分子が取り込まれやすい吸着形態をとり、減水効果を長時間維持できないためスランプロスしやすいことが知られている。<sup>5)</sup>しかし、本研究ではメラミン系減水剤を多量添加すると硬化促進剤を用いても流動性を維持することが可能であり、これは、メラミン系減水剤を多量に添加したことにより、セメント粒子に減水剤が被覆し水和反応が阻害されたことや液相に残存しているメラミン系減水剤が水和物へ吸着するなど効果的に作用することによって流動性が維持されているものと考えている。

このように、メラミン系減水剤であっても、添加率を変化させることにより高い流動性を確保しつつ、スランプロスの起こしにくいものを得ることが可能になると現段階では考えている。さらに、硬化促進剤を使用す

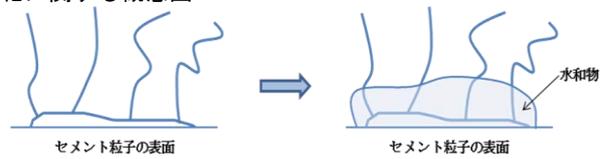


図-7 ポリカル系減水剤モデル図

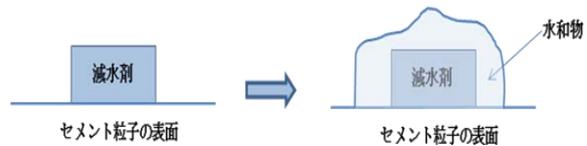


図-8 メラミン系減水剤モデル図

ることによって、誘導期を短縮させ、初期強度を発現させることが可能となるものと思われる。

### 7. まとめ

本研究で得た配合により、生コン舗装においても目標とするフレッシュ性状、早期強度共に達成することができた。また、実施工で確認したことによりその有用性を確認することができた。

また、本研究の3種類の混和剤を併用した場合のメカニズムについても考察を加え、今後の汎用性の道筋を開いた。

### 参考文献

- 1) 岩間滋：技術展望：コンクリート舗装の歴史，土木学会論文集，No.451，V-17，pp7-11，1992
- 2) 山田優：コンクリート舗装への期待と課題，セメント・コンクリート，pp5，2008.5
- 3) 長川善彦：早期交通開放可能型舗装用コンクリートに関する研究，修士論文，2010年度
- 4) 土木学会：舗装標準示方書，土木学会，2007
- 5) コンクリート混和剤の開発技術，p.47~p.96，シーエムシー(1995)