

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1087 September 2004

短繊維補強コンクリートの施工性に関する検討

伊藤 始
岩波 光保
横田 弘

独立行政法人 港湾空港技術研究所
Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 実験概要	4
2.1 検討ケース	4
2.2 使用材料	5
2.2 配合	5
3. 短繊維混入率, 短繊維種類, ベーススランプの違いがフレッシュ性状に及ぼす影響	6
3.1 検討方法	6
3.2 短繊維混入率の違い	8
3.3 短繊維種類の違い	8
3.4 ベーススランプの違い	8
4. 練混ぜに関する検討	9
4.1 練混ぜ方法	9
4.2 短繊維の分散性	9
5. 時間経過によるフレッシュ性状の変化	9
5.1 検討方法	9
5.2 検討結果	9
6. ポンプ圧送性に関する検討	10
6.1 検討方法	10
6.2 圧送によるフレッシュ性状の変化	11
6.3 管内圧力損失	12
7. まとめ	14
8. あとがき	14
謝辞	14
参考文献	14
付録	17

Study on Constructability of PVA Short Fiber Reinforced Concrete

Hajime ITO*
Mitsuyasu IWANAMI**
Hiroshi YOKOTA***

Synopsis

Steel reinforcement is generally embedded in concrete for preventing concrete members from failing brittlely in shear or tension forces. However, the reinforcement may cause localization of cracks and stress concentration because it is located linearly in concrete. To overcome the problem, mixing PVA short fibers with concrete is focused in this study to achieve ductile concrete members. Improvement of structural performance of concrete members supplementarily reinforced by PVA short fibers has been experimentally confirmed by the authors. For ensuring the performance improvement, it is prerequisite to confirm the constructability of PVA short fiber reinforced concrete such as mixing, transporting, casting, curing, etc.

This paper describes the results of experimental investigation into the constructability focusing on the differences between PVA short fiber reinforced concrete and normal concrete. Several requirements were proposed in this study for producing, transporting, and casting PVA short fiber reinforced concrete to achieve the required structural performance.

Key Words: PVA short fiber, constructability, slump, pumpability, lightweight concrete

* Visiting Researcher of Structural Mechanics Division, Geotechnical and Structural Engineering Department

** Senior Researcher of Geotechnical and Structural Engineering Department

*** Head of Structural Mechanics Division, Geotechnical and Structural Engineering Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan, Port and Airport Research Institute

Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 E-mail:yokota_h@pari.go.jp

短繊維補強コンクリートの施工性に関する検討

伊藤 始*
岩波 光保**
横田 弘***

要 旨

コンクリートは引張あるいはせん断荷重下では脆性的に破壊するため、一般には、鉄筋等の鋼材による補強が行われている。しかし、これら鋼材は線的にコンクリート中に配置されるため、ひび割れ分散効果等が十分ではない場合がある。このため、コンクリート中に鋼製あるいはプラスチック製の短繊維をコンクリート中に均等に分散させて用い、鉄筋等による補強を補うことにより、コンクリートのひび割れを制御し、力学性能を改善する研究が進められている。この短繊維補強コンクリートを実際の構造物に適用し、十分な性能を発揮させるためには、短繊維を混入したコンクリートの練混ぜ、運搬、打込み、養生などの施工を確実に行うことが重要となる。

本研究では、短繊維補強コンクリートを実際の構造物に適用するために、施工性の検討を行い通常のコンクリートとの相違や留意点を把握した。この研究成果を考慮することで、短繊維補強コンクリートの所要の品質を確保することが可能となり、短繊維混入による力学性能の改善効果を十分に発揮させることができると考えられる。

キーワード：PVA 短繊維，施工性，スランプ，ポンプ圧送性，軽量コンクリート

* 地盤・構造部 構造強度研究室客員研究員（所属：前田建設工業株式会社）

** 地盤・構造部 主任研究官（構造性能評価担当）

*** 地盤・構造部 構造強度研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 E-mail: yokota_h@pari.go.jp

1. まえがき

コンクリートは、引張荷重下あるいはせん断荷重下において脆性的に破壊するため、一般的に鉄筋を中心とした鋼材による補強が施される。しかしながら、鉄筋を用いた場合、コンクリート内部に集中して配置されるため、ひび割れ分散性が十分でない場合や発生応力が局所化する場合がある。また、昨今の構造物の大型化や高性能化により、部材の配筋が過密となり、施工面からも鋼材を用いた補強には限界がある。

短繊維補強コンクリートは、このような状況にある鋼材を用いた補強に加えて、または代えて、コンクリート中に鋼製あるいはプラスチック製の短繊維を分散させて混入したものである。短繊維を混入することにより、コンクリートにおけるひび割れや発生応力が分散されるため、結果的にじん性の高い構造物を実現することが可能となる。

コンクリートの補強材として用いられる短繊維は、主に鋼繊維とPVA（ポリビニルアルコール）やポリエチレンなどの合成繊維の2種類に大きく分けられ、今回はPVA短繊維を研究の対象とした。PVA短繊維は、鋼繊維に比べ、体積混入率を同一とした場合の補強効果は劣るものの、比重が小さいためコンクリートとの分離抵抗性に優れ、コンクリート重量の増加を抑えることが可能である。また、作業性、耐食性にも優れている。さらに、合成繊維の中においても、引張強度が強く、コンクリートとの付着性や耐アルカリ性に優れている¹⁾。

短繊維をコンクリートの補強材に用いる研究は、鋼繊維を対象として古くから行われており、トンネルの一次覆工や埋設型枠などに関するものが多い。最近では平成11年に柱部材を対象として「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針（案）」²⁾（以下、鋼繊維指針と記す）が土木学会より発行されている。一方、PVA短繊維は、比較的最近になって普及し始めた材料であり、研究は90年代半ばから行われてきた。しかしながら、研究のほとんどは、セメント複合材料³⁾すなわちモルタルへの混入を対象とした研究である。この一例として、Liらの開発したECC⁴⁾（Engineered Cementitious Composites）があり、これはモルタルの高じん性を目的としている。このように、PVA短繊維の混入により、コンクリートの力学性能改善を目的とした研究は少なく、構造性能の評価に関する技術はまだ確立されていない状況にある。

著者らは、これら既往の研究と異なり、コンクリートにPVA短繊維を混入することによる鉄筋コンクリートの力学性能改善を目的とした研究を進めている。これま

で、短繊維補強コンクリートの力学性能の改善に関する検討を実施し、コンクリートの基礎物性として、曲げ強度、疲労強度、衝撃強度、およびRC部材の力学性能として、せん断抵抗、ひび割れ分散性、耐荷性、じん性の改善効果を確認した。また、短繊維補強コンクリート部材の構造性能の評価を行い、既報⁵⁾で報告した。

この短繊維補強コンクリートを実際の港湾構造物に使用する場合に、構造物の性能を十分に発揮させるためには、練混ぜ、運搬、打込み、養生などの施工を適切に行い、コンクリートの品質を確保することが重要である。短繊維補強コンクリートの施工性に関する研究は、個別の現場で検討されているものの、体系的に検討された例はほとんどない。また、本研究では、構造部材への適用を目的としているため、短繊維の混入率が大きい範囲での検討が必要であるが、トンネル覆工など力学性能の改善を期待しない部材への適用を検討した例は、混入率が小さい範囲に限られており、加えて、PVA短繊維については比較的新しい材料であり、検討された例が少ないのが現状である。

このようなことから、本資料では、短繊維補強コンクリートを施工する一連の工程について検討を行い、通常のコンクリートを用いた場合の施工性との相違や留意点を確認した結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 検討ケース

これまでに確認された短繊維混入によるコンクリートの力学性能の改善効果を実際の構造物においても十分に発揮させるためには、短繊維を混入したコンクリートの施工を確実にすることが重要となる。コンクリートは、通常、図-1に示すフローに従い施工される。そのため、施工性に関する検討は、同図に示したように、短繊維混入により影響を受けると考えられる配合、練混ぜ、運搬の各項目を抽出した。打込み、締固め、仕上げ、養生の各項目に関しては、配合で施工性が十分に検討されれば、通常のコンクリートと同様に扱えるものと考え、ここでの検討対象から除外した。

配合に関しては、短繊維の混入率および種類、ベースコンクリートのスランブの違いがコンクリートのスランブあるいはスランブフローおよび空気量（以下、フレッシュ性状と言う）に与える影響を検討した。練混ぜに関しては、アジテータ車での短繊維の練混ぜを想定し、アジテータ車に短繊維を投入し練り混ぜた際の短繊維の分散性について検討した。運搬に関しては、コンクリート

プラントから打込み場所までの運搬を想定し、時間経過によるフレッシュ性状の変化を検討した。加えて、配管によるポンプ圧送を想定し、圧送による管内圧力およびフレッシュ性状の変化を評価した。

検討項目と検討の対象としたコンクリート種類、短繊維種類、ベースコンクリートのスランプの関係を表-1に示す。コンクリート種類は、通常の単位体積質量を有するコンクリートと軽量コンクリートとした。短繊維は、後述する PVA-A と PVA-B の 2 種類を用いた。

検討に用いたすべての練混ぜケースを、付録 A に示す。普通コンクリートでは短繊維混入率(種類)、単位水量(目標スランプ)、経過時間、混和剤添加量を検討パラメータとし、軽量コンクリートでは短繊維混入率、水セメント比、混和剤添加量を検討パラメータとした。

2.2 使用材料

(1) 短繊維

実験に使用した PVA 短繊維は、直径 0.66mm、標準長 30mm のものと直径 0.2mm、標準長 12mm のものの 2 種類である。以下、前者を PVA-A、後者を PVA-B と記す。それぞれの物性を表-2に示す。

(2) 軽量骨材

軽量コンクリートに使用した軽量骨材は、中国・黄河の堆積物を原材料とし、これに発泡材と結合材を混合して造粒した後、高温で焼成発泡させた独立空隙型低吸水性の高性能人工軽量粗骨材である。その材料特性を表-3に示す。

(3) セメント、細骨材、粗骨材、混和剤

コンクリートの製造に使用したセメント、細骨材、粗骨材、混和剤の材料特性を表-3に示す。

2.3 配合

使用したコンクリートは、セメント種類を普通ポルトランドセメント、配合条件を普通コンクリートではスランプ 18cm、空気量 4.5%、粗骨材最大寸法 20mm、軽量コンクリートではスランプフロー450mm、空気量 5.5%、粗骨材最大寸法 15mm とした。単位体積質量は、普通コンクリートが 2290kg/m³、軽量コンクリートが 1770kg/m³ である。示方配合を表-4に示す。短繊維は、体積比(外割り)で普通コンクリートでは 0.3, 0.5, 1.0, 1.5%、軽量コンクリートでは 0.5 あるいは 1.0%混入した。軽量コンクリートではすべての混入率で高性能 AE 減水剤を添加した。スランプフローは、スランプの平面的な広がりを表したコンクリートの流動性に関する指標であり、一般に高性能 AE 減水剤を用いて流動化させたコンクリー

トに用いられる。おおよその目安として、スランプフロー450mm がスランプ 25cm にあたり、スランプフロー250mm がスランプ 15cm にあたる。

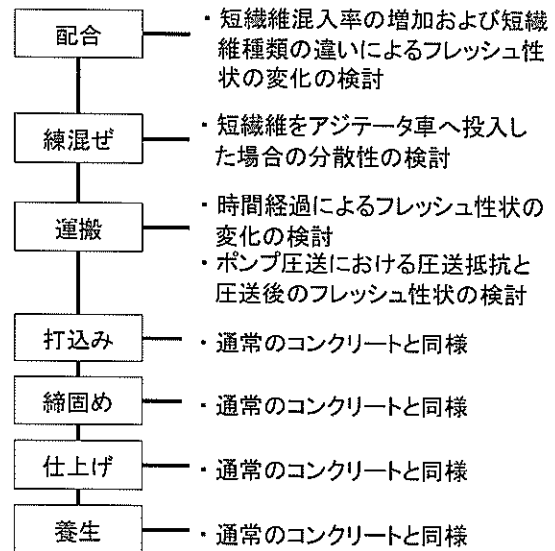


図-1 研究フロー

表-1 検討項目と練混ぜ条件の関係

コンクリート種類		普通			軽量
短繊維種類		PVA-A	PVA-B	PVA-A	PVA-B
スランプ, スランプフロー		18cm	12cm	18cm	450mm
配合	短繊維混入率, 種類, ベーススランプの違いによるフレッシュ性状の変化	●	●	●	●
	練混ぜに関する検討(短繊維分散性の確認)	●	—	—	—
運搬	時間経過によるフレッシュ性状の変化	●	●	—	—
	ポンプ圧送に関する検討	●	—	—	●

表-2 短繊維の物性値

項目	単位	PVA-A	PVA-B
直径	mm	0.66	0.20
標準長	mm	30	12
繊度	dtex*	4440	390
アスペクト比	—	45.5	60.0
比重	—	1.3	
引張強度	N/mm ²	880	
ヤング率	N/mm ²	29400	

* 1dtex: 糸長 10000m の糸質量が 1g であること

3. 短繊維混入率、短繊維種類、ベーススランブの違いがフレッシュ性状に及ぼす影響

3.1 検討方法

コンクリートには、鉄筋間隔などの施工条件に対して適切な流動性を付与することが必要である。短繊維を混入し、混入率を増すことにより、短繊維の周りにコンクリート中のモルタル分が付着し、流動性を確保するためのモルタルが不足することが主な原因となり流動性が低下する。また、短繊維の種類には様々なものがある。短繊維を長く太いものから短く細いものに変えたときには表面積が大きくなり、混入率を増した場合と同様にモルタルの不足量が多くなることで流動性が低下することが予想される。加えて、ベースコンクリートのスランブを小さくしたときにモルタル分が少なくなり、短繊維混入の影響が大きくなると予想される。

表-3 使用材料の特性

種類	名称	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
細骨材	混合砂	表乾密度 2.62g/cm ³ , 吸水率 2.05%, 混合割合 山砂：砕砂=6：4
粗骨材	砕石	表乾密度 2.70g/cm ³ , 吸水率 0.75%
	軽量粗骨材	絶乾密度 1.18g/cm ³ , 24時間吸水率 2.69%, 粒径 5~15mm
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物系
	空気量調整剤	変性ロジン酸化合物系
	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系

表-4 コンクリートの示方配合

コンクリート種類 (スランブ)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
普通 (18cm)	53.2	47.8	181	340	833	940
普通 (12cm)	53.2	47.8	177	333	838	953
軽量	45.0	47.3	165	367	823	413

*混和剤 : 普通 (18cm) — AE減水剤 0.850kg/m³
 空気量調整剤 0.0102kg/m³
 : 普通 (12cm) — AE減水剤 0.833kg/m³
 空気量調整剤 0.0097kg/m³
 : 軽量 — 高性能 AE減水剤 5.14kg/m³
 空気量調整剤 0.0018kg/m³

本検討では、短繊維を混入することによるフレッシュ性状の変化、短繊維種類の違いによるフレッシュ性状の変化、ベーススランブの違いによるフレッシュ性状の変化の3項目を実験により確認した。混入率の検討は、3回の試験を行い、実施した順に No.1~No.3 とした。練混ぜは、No.1 は試験室で、No.2 と No.3 はプラントで行った。短繊維種類の違いおよびベーススランブの違いに関する検討では、混入率の検討の No.1 と同様に試験室で練混ぜを行った。混入率の検討では、普通コンクリートと軽量コンクリートを用い、それ以外の検討では、普通コンクリートのみを用いた。

フレッシュ性状の計測は、写真-1に示すような方法で行った。その際、軽量コンクリートの空気量の測定は、容積方法と圧力方法の両方で行い、容積方法は JIS A 1116 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び

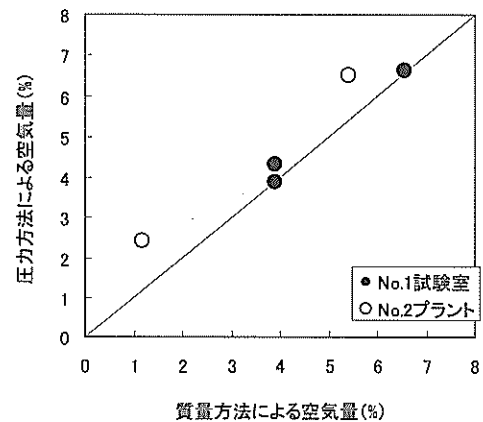


図-2 質量方法と圧力方法による軽量コンクリートにおける空気量の違い

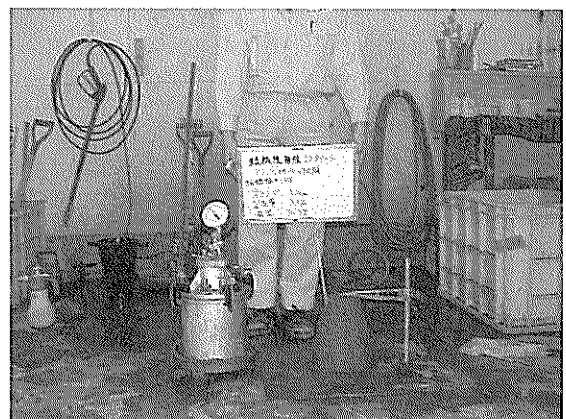
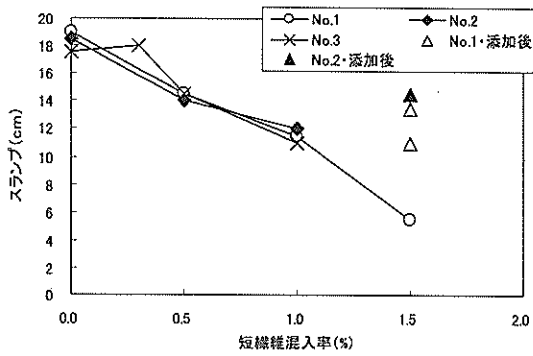
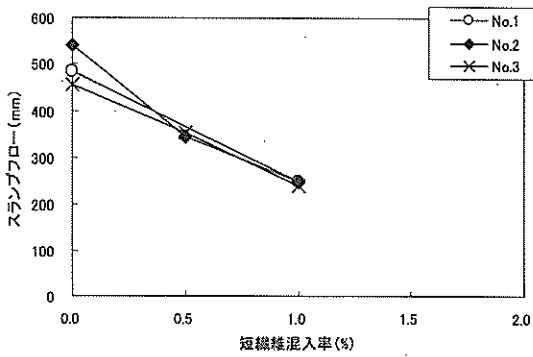


写真-1 試験方法 (左：スランブ試験, 右：エアメータによる空気量測定)

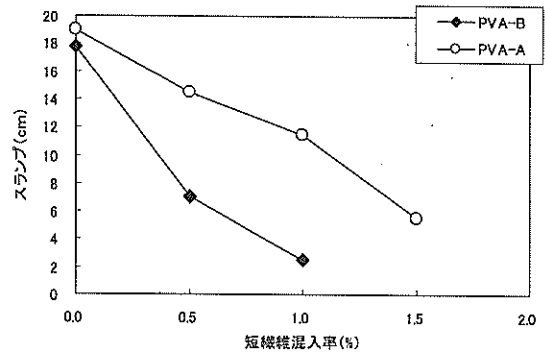


a) 普通コンクリート

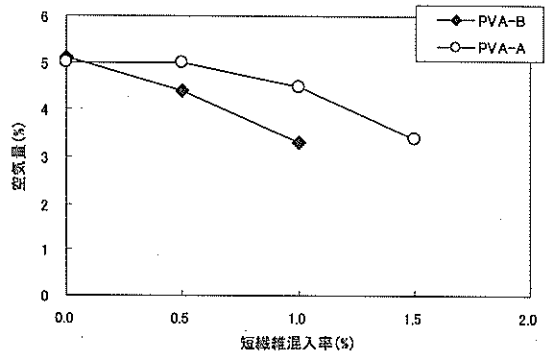


b) 軽量コンクリート

図-3 短繊維混入によるスランプ（フロー）の変化

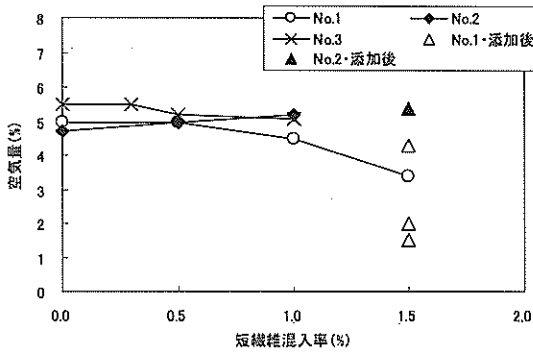


a) スランプ

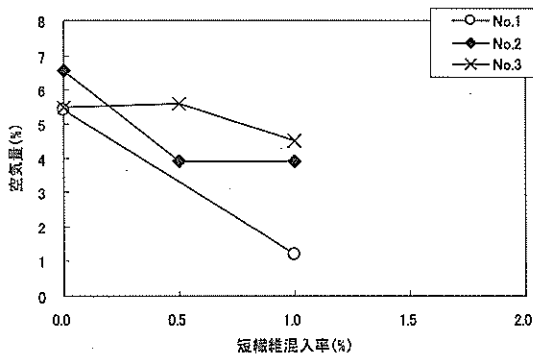


b) 空気量

図-5 短繊維種類の違いによるスランプ・空気量の変化

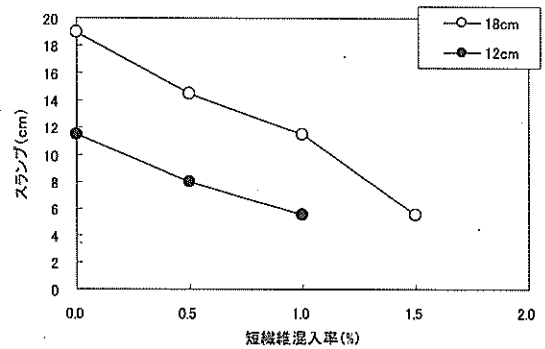


a) 普通コンクリート

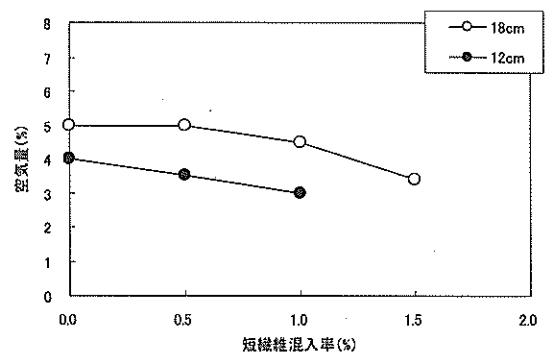


b) 軽量コンクリート

図-4 短繊維混入による空気量の変化



a) スランプ



b) 空気量

図-6 ベーススランプによるスランプ・空気量の変化

空気量の質量による試験方法」に、圧力方法は 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」に従い骨材修正係数を実績より 0.6 として行った⁹⁾。図-2に質量方法と圧力方法による空気量の違いを示す。質量方法に比べ圧力方法が若干大きめに測定されているが、両者に大きな差は無かったので、ここでは容積方法で求めた値のみを示した。

3. 2 短繊維混入率の違い

図-3に短繊維混入率とスランプおよびスランプフローの関係を示す。図-3 a)を見ると、すべてのケースにおいて、スランプは混入率を増加するごとに減少しており、スランプ 18cm の無混入のコンクリートに対して、短繊維を 1.0%混入したコンクリートのスランプは 12cm 程度となった。混入率 1.5%のコンクリートのスランプは 5.5cm となり、配筋条件によっては施工性が悪くなるのが危惧される。その場合には、高性能 AE 減水剤を適切に後添加することで、スランプ 12cm 程度を確保し、分離のないコンクリートとすることが可能であることを確認した。

図-3 b)の軽量コンクリートにおいても、スランプフローは混入率を増加するごとに減少し、スランプフロー 450mm の無混入のコンクリートに短繊維を 1.0%混入したコンクリートのスランプフローは、250mm 程度となった。なお、スランプフロー 250mm 程度のコンクリートは、スランプ 15cm 程度と等価である。

図-4に短繊維の混入による空気量の変化を示す。図-4 a)を見ると、No.2 (◆印)を除いて混入率の増加により、空気量が減少していることが分かる。特に No.1 (○印)では、混入率 1.0%から 1.5%にかけて空気量は急激に低下しており、混入率 1.5%では 1.6 ポイント (以下、空気量の差は「ポイント」で表す) の低下となった。図-4 b)の軽量コンクリートにおいては、普通コンクリートに比べ空気量の変化が大きくなっており、No.1 (○印)では混入率 1.0%で 4.2 ポイントの低下となった。短繊維混入率の増加による空気量の減少は、空気がモルタルに含まれるため、短繊維に付着するモルタルが多くなることによるものと考えられる。

3. 3 短繊維種類の違い

図-5に短繊維種類によるスランプおよび空気量の変化を示す。PVA-B (長さ 12mm, 直径 0.20mm) を混入したコンクリートのスランプおよび空気量は、PVA-A (長さ 30mm, 直径 0.66mm) を混入した場合に比べ、混入率の増加にともなう減少が大きくなり、PVA-A ではスランプ

が混入率 1.0%で 6cm 程度低下したのに対して、PVA-B では 15cm 程度低下した。これは、前述したように PVA-B の表面積が大きいことが原因と考えられる。

3. 4 ベーススランプの違い

図-6にベースコンクリートのスランプを 18cm と 12cm に変えた場合の短繊維混入によるフレッシュ性状の変化を示す。ベースコンクリートのスランプを 12cm とした場合でも 18cm の場合と同様に混入率の増加に伴うスランプおよび空気量の低下が見られた。いずれの場合もスランプの低下は 6~7cm 程度であり、混入率の増加に伴うスランプ低下は、ベーススランプ 18cm と 12cm で明確な傾向の差が見られなかった。

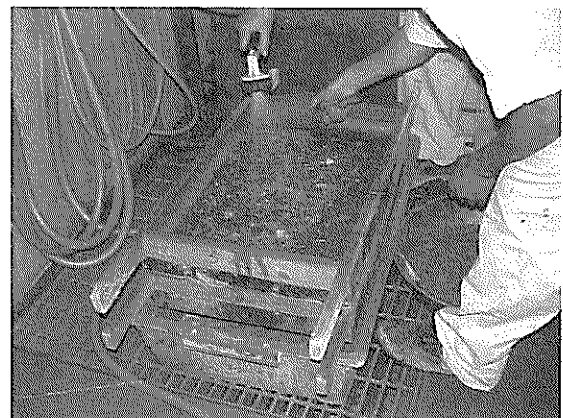


写真-2 洗い試験状況

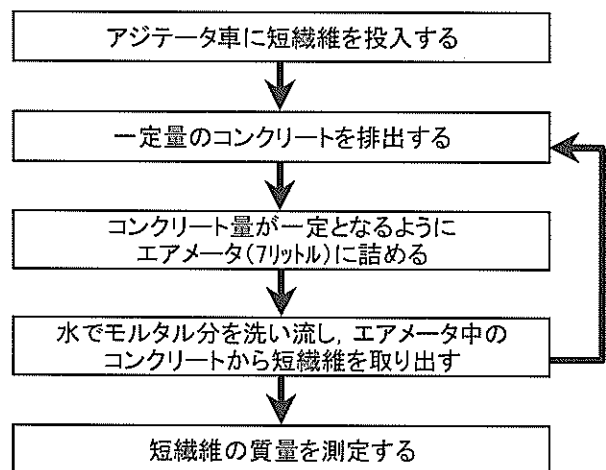


図-7 洗い試験のフロー

4. 練混ぜに関する検討

4.1 練混ぜ方法

短繊維をコンクリート中に練り混ぜる方法として、①コンクリートプラントでミキサーに投入する方法、②打込み現場でアジテータ車に投入する方法の2つが考えられる。①の方法は、練混ぜにより短繊維は確実に分散すると考えられるが、プラントによっては受入れが困難な場合や短繊維の運搬や投入に人手や時間がかかることが適用への課題として挙げられる。

②の方法は、①の方法に比べ簡易的な方法であり適用しやすく、時間経過によるフレッシュ性状の変化の影響を受けなくなる。しかし、アジテータ車のドラム内における短繊維の分散性の確保が課題となり、この点を確認できれば、実際の施工に適用できると考えられる。そのため、本検討では、洗い試験を実施することで短繊維の分散性を確認した。

4.2 短繊維の分散性

(1) 試験方法

洗い試験には、ベースコンクリートとしてプラントで練混ぜを行った普通コンクリートを用いた。洗い試験は、図-7のフローに示す方法で行った。1.0m³のコンクリートをアジテータ車に用意し、アジテータ車のドラム内に短繊維を直接投入した。2分間高速で攪拌後、0.1m³程度のコンクリートを排出し、容積7リットルのエアメータに充填した。その後、そのコンクリートからモルタル分を洗い流し、粗骨材を取り除くことで短繊維を取り出し、その質量を測定した(写真-2)。

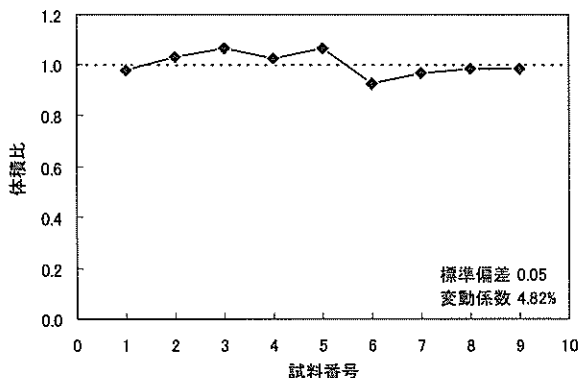


図-8 混入率の変動結果

(2) 試験結果

洗い試験の結果を図-8に示す。結果は、試料ごとの短繊維の体積を全試料に含まれる短繊維の体積の平均値で除した値(体積比)により整理した。その結果、標準偏差は0.05、変動係数は4.8%となった。これより、アジテータ車で練り混ぜた場合でも部分ごとの短繊維混入率の変動は小さいことが確認できた。

5. 時間経過によるフレッシュ性状の変化

5.1 検討方法

コンクリートのフレッシュ性状は、製造プラントから打込み場所までの運搬中の時間経過により変化する。前述したように短繊維の混入により、モルタル分が不足するため、この時間経過によるフレッシュ性状の変化が異なると考えられる。そのため、短繊維混入の有無によるスランプおよび空気量の変化を確認した。

検討ケースは、ベースコンクリートのスランプを18cmとして短繊維混入率を0.0%としたケース、スランプ同一で短繊維混入率を1.0%としたケース、スランプを12cmで短繊維混入率を0.5%としたケースの3ケースとした。検討には、普通コンクリートを用いた。

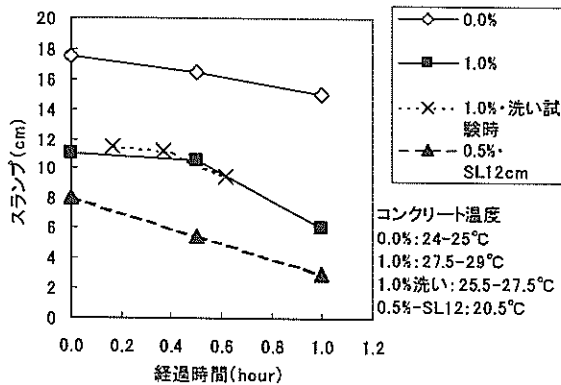
練混ぜ方法は、スランプ18cmとしたケースでは、プラントにおいてベースコンクリートの練混ぜおよび短繊維の投入を行い、アジテータ車にコンクリートを排出した。アジテータ車内で所定時間まで静置し、試験直前に攪拌して試験を行った。スランプ12cmのケースでは、試験室でコンクリートを練混ぜ、所定時間まで静置し、試験直前に練り返して試験を行った。スランプ試験と空気量の測定は、練混ぜ直後、30分後、60分後に行った。なお、スランプ18cmで混入率1.0%としたケースは、参考として洗い試験時の測定結果も示した。

5.2 検討結果

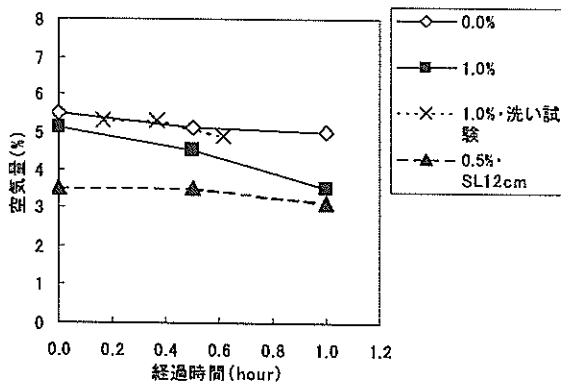
図-9 a)に時間経過に伴うスランプの変化を示す。短繊維を混入していないコンクリートのスランプは、時間の経過によりほぼ直線的に低下し、1時間経過後に2.5cm低下した。短繊維を1.0%混入したコンクリートのスランプは、30分後の範囲では緩やかに低下したが、30分後から1時間後までは急激に低下し、合計で5.0cm低下した。ベーススランプを12cmとして短繊維の混入率を0.5%としたケースでも、1時間経過後にスランプが5.0cm低下して、3.0cmとなった。

図-9 b)に時間経過による空気量の変化を示す。短繊維を混入していないコンクリートの空気量は、スランプと

同様に時間の経過とともにほぼ直線的に低下し、1時間経過後に0.5ポイント低下した。短繊維を1.0%混入したコンクリートの空気量は、大きく低下し、ベースコンクリートの空気量5.1%から3.5%まで1.6ポイント低下した。ベーススランブを12cmとして短繊維の混入率を0.5%としたケースでは、1時間経過後に空気量が0.4ポイント低下した。



a) スランブ



b) 空気量

図-9 時間経過によるスランブおよび空気量の変化

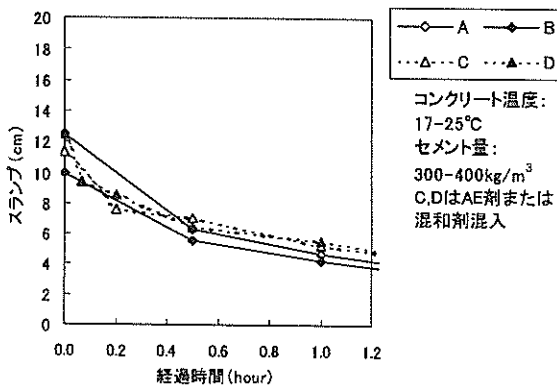


図-10 スランブロスに関する既往の研究⁷⁾

短繊維を混入することでスランブロスおよび空気量の低下が大きくなる結果となった。しかしながら、短繊維混入率が1.0%のケースは、コンクリート温度が27.5~29.0℃と無混入のものに比べ高く、コンクリート温度の影響も無視できないと考えられる。また、図-10に示す一般的なコンクリートのスランブロスに関する既往の研究結果⁷⁾を見ると、練混ぜ直後のスランブが12cm程度であったものが60分経過後に5cm程度となっている。これらを考慮すると短繊維を混入することによる影響は、それほど大きなものではないと考えられる。なお、前述したように短繊維をアジテータ車内のコンクリートへ直接投入して練り混ぜられる場合は、これらの検討結果は対象外となる。

6. ポンプ圧送性に関する検討

6.1 検討方法

コンクリートをポンプ圧送により打込み箇所まで運搬する場合、①管内圧力の上昇に伴う閉塞と②圧送後のフレッシュ性状の変化が課題となる。短繊維を混入したコンクリートでは、前述したようにモルタル分が少なくなるため、コンクリートの分離抵抗性の低下や圧送によるスランブの低下が大きくなることが懸念される。そのため、短繊維補強コンクリートを対象とするポンプ圧送実験を行い、短繊維混入による管内圧力の変化と圧送前後のコンクリートのフレッシュ性状および硬化時の圧縮強度およびヤング率を確認した。

(1) 実験ケース

ポンプ圧送実験の実験ケースを表-5に示す。コンクリート種類は普通コンクリートと軽量コンクリートの2種類として、コンクリート体積4m³に短繊維を体積混入率(外割り)1.0%で混入した。ベースコンクリートおよび短繊維の練混ぜは、製造プラントにおいて行い、アジテータ車で運搬した。

圧送ケースは、ポンプ車の圧送速度を低速、中速、高速として、それぞれコンクリートを1m³程度圧送した。圧送速度の管理は吐出量で行い、3つの方法で測定した。1つ目は一定体積のコンクリートを排出するのに要した時間の測定による方法、2つ目はポンプ車のシリンダー容積と吐出時間間隔の測定による方法、3つ目はポンプ車の表示による方法である。3つの方法による計測の結果、吐出量は、各圧送速度で30m³/h、60m³/h、90m³/h前後となったため、以後の考察では、このように記述した。

フレッシュ性状の試験は、圧送前と各圧送速度による圧送後のコンクリートで行った。試験項目は、スランブ、

空気量，コンクリート温度，外気温とした．強度確認用の供試体（10×20cm 円柱供試体，各ケース3本）の採取は，圧送前と圧送後（高速）に行った．その後水中標準養生を28日間行い，圧縮強度試験に供した．

(2) 配管方法および管内圧力測定方法

配管方法は，図-11に示すように直線区間を3区間，ベント管区間を3区間，テーパ管区間を1区間，フレキシブルホース区間を1区間含むようにした．この配管方法での水平換算距離は，135°ベント管を90°ベント管と同様の水平換算距離6mとし，フレキシブルホースの水平換算距離を5mとした場合，82mである．管内圧力の測定は，4箇所で行い，①吐出口から2m，②吐出口から水平換算距離で14m，③吐出口から同32m（排出口まで50m），④吐出口から同56m（排出口まで26m）の各位置とした．なお，排出口は圧力0N/mm²と考える．圧送時の管内圧力は，圧力計を用い，動ひずみ計で1秒間に20回の間隔で連続的に測定した．

(3) 使用ポンプ車

コンクリートポンプ車はピストン式とし，配管径は5インチ管とした．コンクリートポンプにかかる圧送負荷の算定は，水平管1mあたりの管内圧力損失（MPa/m）と水平換算距離（m）の積で表される．土木学会「コンクリートのポンプ施工指針」⁸⁾（以下，ポンプ指針）において，今回，想定した最も管内圧力が大きくなる条件として，スランブ18cmの人工軽量骨材コンクリートを5インチ管で圧送する場合を考えると1mあたりの管内圧力損失は，吐出量40m³/hに対して，0.027MPa/mを標準としている．本実験の水平換算距離は82mであるため，圧送負荷は以下のように算定される．

$$\text{圧送負荷 } P_{max} = (\text{水平管 1m あたりの管内圧力損失 (MPa/m)}) \times (\text{水平換算距離 (m)})$$

$$= 0.027 \text{MPa/m} \times 82 \text{m} = 2.214 \text{MPa}$$

圧送負荷 P_{max} は，ポンプ車の最大理論吐出圧力の80%以下であることが必要であることより，最大理論吐出圧力が2.8MPa以上のポンプ車を選定した（写真-3）．

6.2 圧送によるフレッシュ性状の変化

各実験ケースにおいて，圧送前後のコンクリートのスランブ，空気量，圧縮強度，ヤング率を比較し，圧送前後の性状の変化を把握した．

(1) フレッシュ性状

図-12および図-13に圧送前後のスランブおよび空気量を示す．なお，軽量コンクリートの空気量は，圧力方法に従い行い，実績より骨材修正係数0.6を用いた．圧送前と高速圧送後で比較すると，普通コンクリートではスランブが1.0cm，軽量コンクリートでは2.5cm低下した．空気量は，普通コンクリートで0.4ポイント増加し，軽量コンクリートで0.2ポイント減少したが，傾向は明確ではなかった．スランブは，若干の低下傾向が見られるが，打込みする際に問題となる低下量でないと判断できる．

また，ポンプ圧送後に排出されたコンクリートの目視観察を行った．その結果，短繊維の分散や配向の状態には，圧送前と明確な差は見られなかった．

(2) 硬化コンクリート

圧送前後に採取した供試体の材齢28日における圧縮強度とヤング率を図-14および図-15に示す．普通コンクリートでは，圧縮強度，ヤング率ともに明確な傾向が見

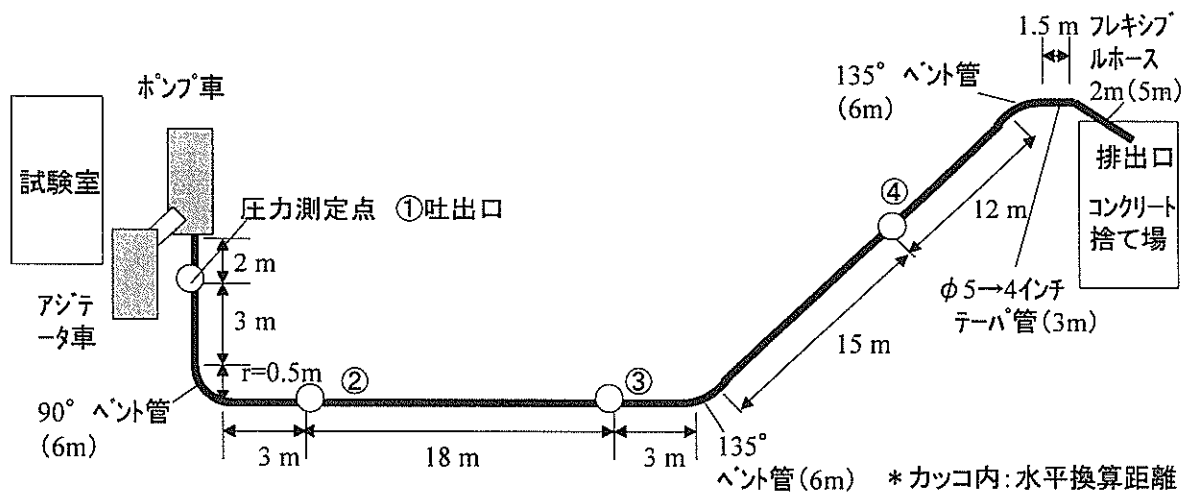


図-11 配管図

られなかった。軽量コンクリートでは、圧送後に圧縮強度、ヤング率ともに大きくなった。これは、図-12b)でのスランプの低下でも分かるように、見かけ上の水セメント比（単位水量）が低下したためと推察され、この水セメント比の低下は、軽量骨材の吸水や圧送による脱水が原因であると考えられる。

6.3 管内圧力損失

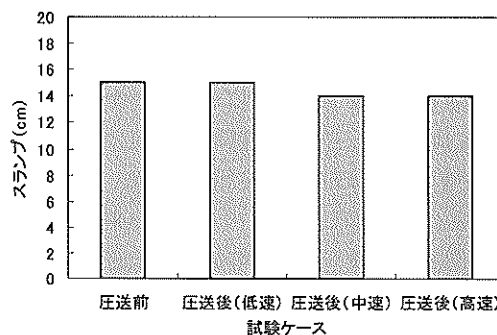
ポンプ圧送時に計測された管内圧力波形の一例を図-16に示す。ここでは、各圧送速度において計測された4～7波の最大圧力の平均値を各ケースにおける管内圧力とした。各計測点において計測された管内圧力と水平換算距離の関係を図-17に示す。同図によれば、吐出量が大きくなるに従い管内圧力が大きくなり、また、水平換算距離が大きく、排出口に近くなるほど管内圧力が小さくなった。同図には、最小自乗法により求めた近似直線を示す。この近似直線の負の傾きが水平管1mあたりの管内圧力損失である。

表-5 実験ケース

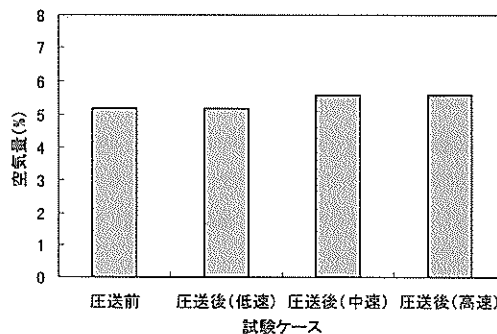
コンクリート種類 /短繊維混入率	実験ケース
普通コンクリート /1.0%	圧送前
	圧送後（低速 30m ³ /h）
	圧送後（中速 60m ³ /h）
	圧送後（高速 90m ³ /h）
軽量コンクリート /1.0%	圧送前
	圧送後（低速 30m ³ /h）
	圧送後（中速 60m ³ /h）
	圧送後（高速 90m ³ /h）



写真-3 ポンプ圧送実験に使用したポンプ車

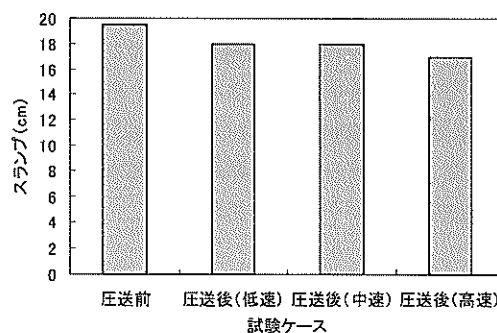


a) 普通コンクリート

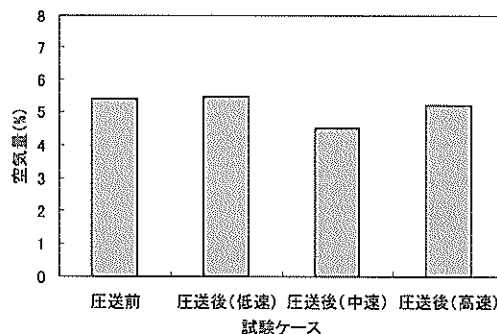


b) 軽量コンクリート

図-12 圧送前後のスランプの測定結果



a) 普通コンクリート



b) 軽量コンクリート

図-13 圧送前後の空気量の測定結果

吐出量と管内圧力損失の関係を図-18に示す. 同図には, ポンプ指針に記載されている同程度の条件における管内圧力損失の標準値を示す. すなわち, 普通コンクリートでは標準値としてスランプ 12cm および 18cm, 粗骨材最大寸法 20~25mm の場合を用い, 軽量コンクリートではスランプ 18cm に流動化させた場合の値を用いた.

実験結果とポンプ指針の標準値を比較すると, 普通コンクリートでは, 実験における管内圧力がスランプ 18cm と 12cm の標準値の間に入り, 短繊維混入によるポンプ圧送への影響はほとんどないことが分かった.

軽量コンクリートでは, 管内圧力が普通コンクリートでスランプ 18cm のものよりも大きくなったが, ポンプ指針で示されている従来の軽量骨材を用いた場合の管内圧力を大きく下回った. これは, 今回使用した軽量骨材が従来の軽量骨材よりも吸水率が小さく圧送性が良いことを表している. 今回の軽量コンクリートに短繊維を混入した場合には, 圧送速度が小さい範囲では普通コンクリートでスランプが 12cm のコンクリートと同程度の管内圧力損失として扱うことができることが確認できた.

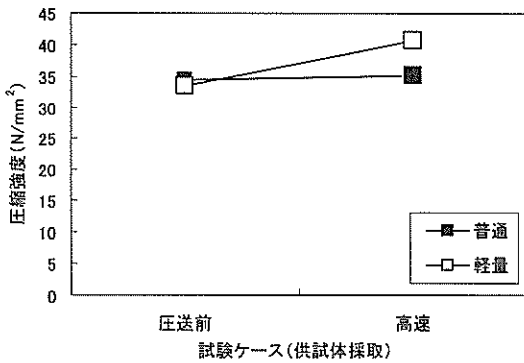


図-14 圧縮強度

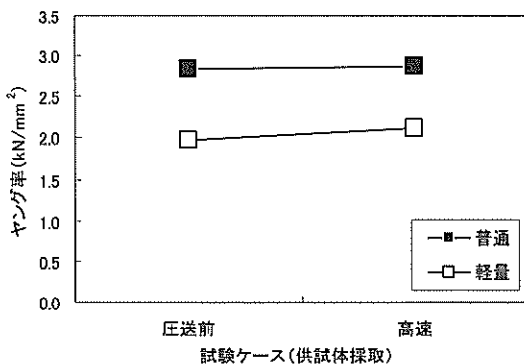
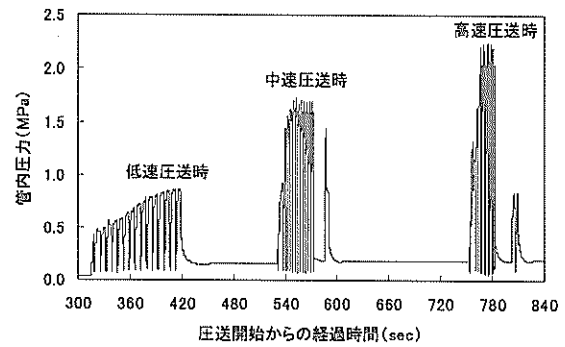
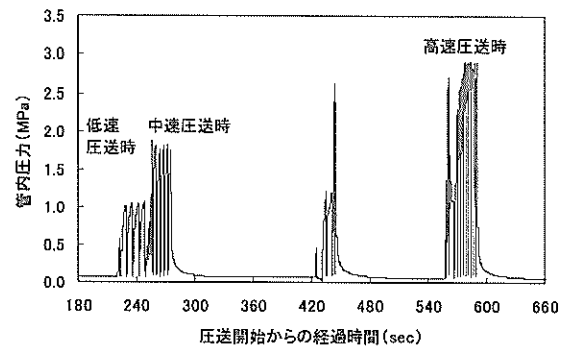


図-15 ヤング率

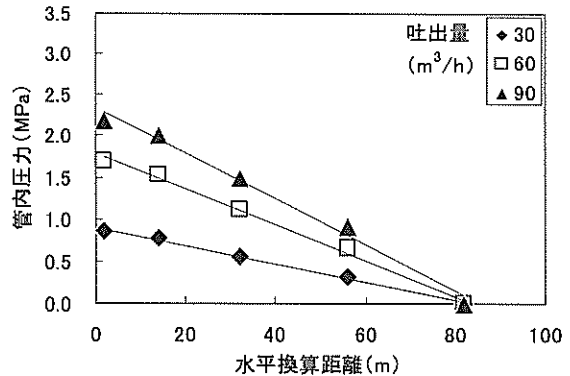


a) 普通コンクリート

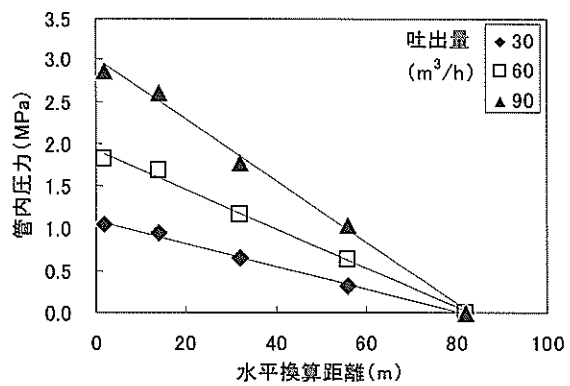


b) 軽量コンクリート

図-16 管内圧力波形 (測点 1)



a) 普通コンクリート



b) 軽量コンクリート

図-17 水平換算距離と管内圧力の関係

7. まとめ

短繊維を混入したコンクリートを施工する際の各検討項目について、本研究での検討により得られた結果と付随する留意点をまとめて表-6および表-7に示す。表-6は短繊維をアジテータ車で練り混ぜる場合の結果を示し、表-7はプラントで練り混ぜる場合の結果を示している。なお、プラントで練り混ぜる場合は、アジテータ車による運搬の工程が含まれている。

8. あとがき

本研究では、短繊維補強コンクリートを施工するための配合、練混ぜ、運搬などの一連の工程に対する施工性について検討を行い、通常のコンクリートとの相違や留意点を把握することができた。そのため、既報³⁾で報告した力学性能の改善効果を期待して短繊維補強コンクリートを港湾構造物に使用する場合に、今回把握できた適用範囲や留意点を考慮することで適切な施工がなされ、コンクリートの品質が確保され、十分に改善効果を発揮することができると思われる。

最後に、今回の施工性に関する研究成果をもとにして、付録Bに示すように、短繊維補強コンクリートを護岸の水叩き部に適用した。約10m³の短繊維補強コンクリートを打込んだが、短繊維混入率が最大0.5%であったこともあり、コンクリートのフレッシュ性状は良好で、普通コンクリートと同様の施工が可能であった。施工箇所は、コンクリートの耐久性上、比較的厳しい環境下であるため、今後、経年によるコンクリートの変化を観察したいと考えている。

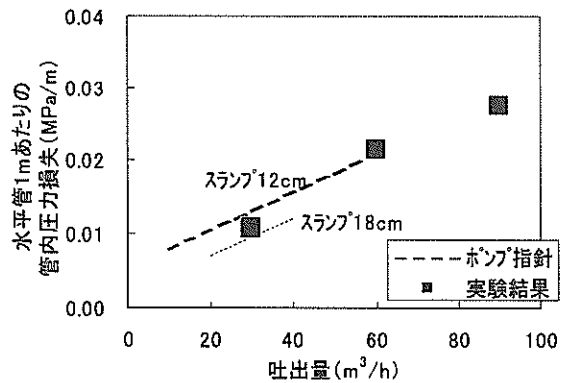
(2004年5月14日受付)

謝辞

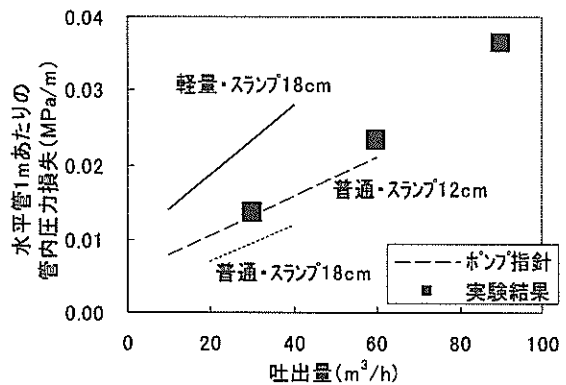
本研究を実施するにあたりご助言を頂きました九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所の各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば、小林一輔：研究展望・新素材とコンクリート，土木学会論文集，No.420/V-13，pp.17-28，1990。
- 2) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート柱部材の設計指針（案），コンクリートライブラリー97，pp.7-18，71-79，1999。



a) 普通コンクリート



b) 軽量コンクリート

図-18 圧送速度と水平管1mあたりの管内圧力損失

- 3) 例えば、蔵谷幸憲，福山洋，中野克彦，松崎育弘：高靱性型セメント系複合材料を用いた梁部材の構造性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.21，No.3，pp.511-516，1999。
- 4) Victor C. Li：Reflections on the Research and Development of Engineered Cementitious Composites，Proceeding of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC)，pp.1-21，2002。
- 5) 横田弘，伊藤始，岩波光保，加藤絵万：短繊維混入によるコンクリート構造物の力学性能改善効果の定量評価，港湾空港技術研究所資料，No.1071，2004.3。
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書・規準編，pp.256-258，266-270，2002。
- 7) 日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'01，pp.157-164，2001。
- 8) 土木学会：コンクリートポンプ施工指針（平成12年版），コンクリートライブラリー100，pp.13-24，2000。

表-6 施工性に関する検討結果（短繊維をアジテータ車で練り混ぜる場合）

工程	種類	検討結果	留意点
配合	普通コンクリート	ベースコンクリートのスランブを 18cm とした場合、短繊維混入率 1.0% までは通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であった。スランブを 12cm とした場合、混入率 0.5% までは同様に扱うことが可能であった。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 以下の場合には練混ぜ試験を行い、適切な混和剤を選定し、添加する必要がある。 ① ベースコンクリートのスランブを小さくする場合 ② 短繊維の種類を細いものに代える場合 ③ 混入率を増加させる場合
	軽量コンクリート	ベースコンクリートのスランブフローを 450mm とした場合、短繊維混入率 1.0% までは通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であった。	
練混ぜ	アジテータ車	洗い試験の結果、部分ごとの混入率の変動は小さかった。	・ アジテータ車のドラム内に短繊維を分散させて投入し、攪拌を十分に行う必要がある。
運搬	ポンプ	短繊維混入によるスランブの低下を考慮すれば、ポンプ指針に示された管内圧力損失の標準値を用いて圧送計画を立てることで圧送可能である。	・ コンクリートの分離抵抗性が低い場合に閉塞に対する注意を要する。
打込み 締固め		「配合」において、検討された短繊維補強コンクリートであれば、通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であると考えられる。	・ 適切な流動性が確保されない場合には、混和剤の後添加を考慮する。
仕上げ 養生		通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であると考えられる。	なし

表-7 施工性に関する検討結果（短繊維をプラントで練り混ぜる場合）

工程	種類	検討結果	留意点
配合	普通コンクリート	ベースコンクリートのスランブを 18cm とした場合、短繊維混入率 1.0%までは通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であった。スランブを 12cm とした場合、混入率 0.5%までは同様に扱うことが可能であった。	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の場合には練混ぜ試験を行い、適切な混和剤を選定し、添加する必要がある。 ①ベースコンクリートのスランブを小さくする場合 ②短繊維の種類を細いものに代える場合 ③混入率を増加させる場合
	軽量コンクリート	ベースコンクリートのスランブフローを 450mm とした場合、短繊維混入率 1.0%までは通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であった。	
練混ぜ	プラント	良好な分散性が得られると考えられる。	・プラントでの受入れ、投入する短繊維の運搬や投入手間を考慮する。
運搬	アジテータ車	通常のコンクリートと同程度のスランブロスであった。	・運搬時間を考慮し、ベースコンクリートのスランブや空気量を選定し、混和剤の後添加も考慮する。
	ポンプ	短繊維混入によるスランブの低下を考慮すれば、ポンプ指針に示された管内圧力損失の標準値を用いて圧送計画を立てることで圧送可能である。	・コンクリートの分離抵抗性が低い場合に閉塞に対する注意を要する。
打込み 締固め		「配合」において、検討された短繊維補強コンクリートであれば、通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であると考えられる。	・適切な流動性が確保されない場合には、混和剤の後添加を考慮する。
仕上げ 養生		通常のコンクリートと同様に扱うことが可能であると考えられる。	なし

付録A

練混ぜケース

練混ぜを行ったすべてのケースを表に示す。混和剤の量が記していない練混ぜケースでは、本文に記した混和剤の量を添加した。

a) 普通コンクリート

コンクリート種類	回	実施項目	試験パラメータ			混和剤の追加			
			混入率 Vol.%	単位水量 kg/m ³	経過時間 hour	高性能 AE減水剤 kg/m ³	空気量 調整剤 kg/m ³		
普通	1回目	試験練り	0.0	181	-	-	-		
			0.5	181	-	-	-		
			1.0	181	-	-	-		
			1.5	181	-	-	-		
			1.5	181	-	3.40	0.0102		
			1.5	181	-	3.40	0.0204		
			1.5	181	-	3.40	0.0340		
		打設	0.0	181	-	-	-		
			0.5	181	-	-	-		
			1.0	181	-	-	-		
			1.5	181	-	3.40	0.0170		
			2回目	試験練り	RF350-0.0	181	-	-	-
					RF350-0.5	181	-	-	-
					RF350-1.0	181	-	-	-
	試験練り S.L.12	0.0		172	-	-	-		
		0.0		177	-	-	-		
		0.5		177	0.0	-	-		
		0.5		177	0.5	-	-		
		0.5		177	1.0	-	-		
		1.0		177	-	-	-		
	打設 (一軸など)	0.0		181	0.0	-	-		
		0.0		181	0.5	-	-		
		0.0		181	1.0	-	-		
		0.3		181	-	-	-		
		0.5	181	-	-	-			
		1.0	181	0.0	-	-			
		1.0	181	0.5	-	-			
打設 (床版)	1.0	181	1.0	-	-				
	RF350-0.5	181	-	-	-				
	0.0	181	-	-	-				
	0.5	181	-	-	-				
	1.0	181	-	-	-				
	洗い試験	0.0	181	0.0	-	-			
		1.0	181	0.2	-	-			
		1.0	181	0.4	-	-			
		1.0	181	0.6	-	-			
	ポンプ圧送	1.0	181	-	-	-			

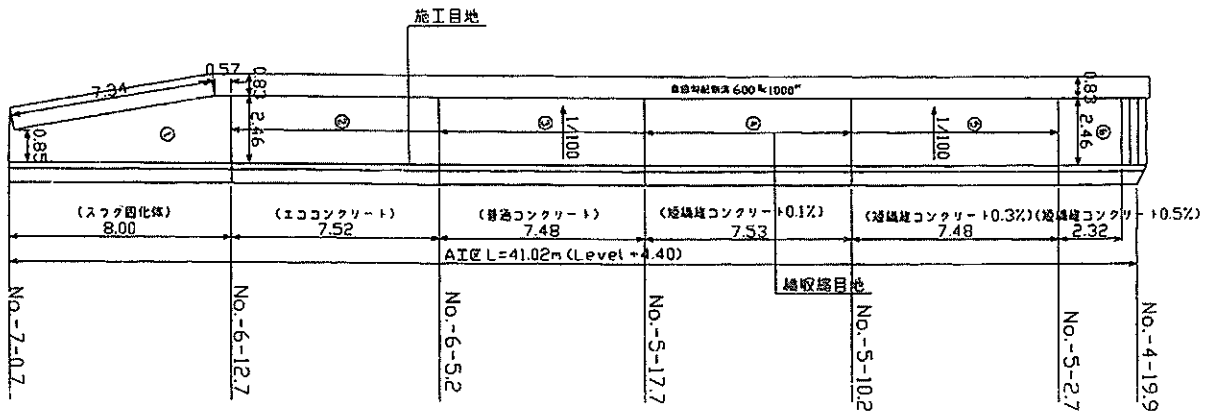
b) 軽量コンクリート

コンクリート種類	回	実施項目	試験パラメータ		混和剤の追加	
			混入率 Vol.%	水セメント比 %	高性能 AE減水剤 kg/m ³	空気量 調整剤 kg/m ³
軽量	1回目	試験練り	0.0	45	4.40	0.0551
			0.0	45	-	0.0551
			0.0	45	-	-
			0.0	50	4.95	-
			0.0	55	4.95	-
		1.0	45	-	-	
		打設	0.0	45	4.40	-
			0.5	45	-	-
			1.0	45	4.40	-
	2回目		打設 (一軸など)	0.0	45	-
		0.5		45	-	-
		1.0		45	-	-
		打設 (床版)	0.0	45	-	-
			0.5	45	-	-
			1.0	45	-	-
ポンプ圧送	1.0	45	-	-		

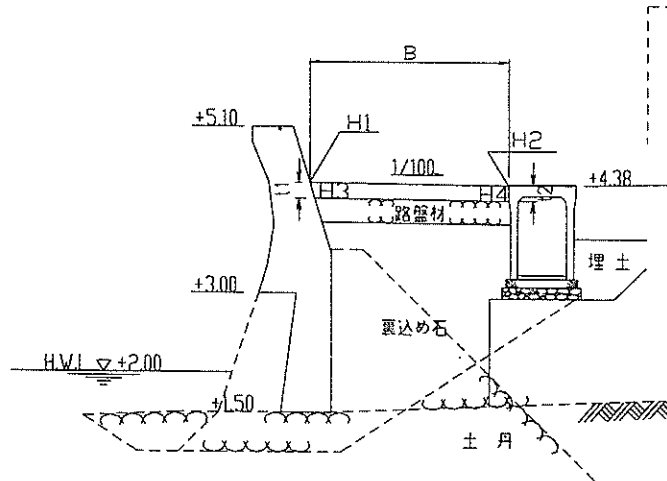
付録 B

護岸工事への適用例

1. 工事件名：横須賀港久里浜地区護岸特殊コンクリート舗装工事
2. 工事概要：護岸において特殊コンクリートによる水叩きの舗装を行うものである。
3. 施工場所：神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 国土交通省 国土技術政策総合研究所内
4. 施工図：



a) 平面図



b) 断面図

5. 配合：

配合条件 短繊維混入率	単位量 (kg/m ³)				
	セメント	水	細骨材	粗骨材	短繊維
21-12-20BB 0.1%	244	156	814	1094	1.3
21-12-20BB 0.3%					3.9
21-12-20BB 0.5%					6.5

水セメント比 W/C : 64.0%, 細骨材率 s/a : 43.7%, 混和剤 : 0.488kg/m³

短繊維種類は本文中に物性を示した PVA-A を用いた。

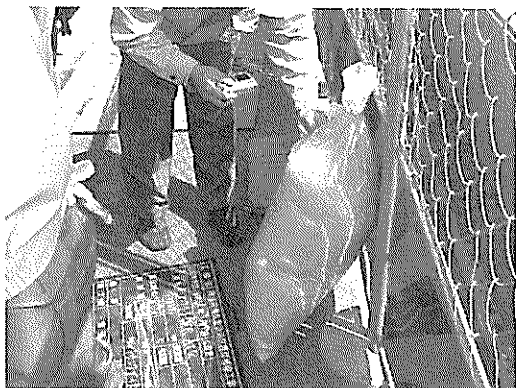
6. 現場試験結果：

配合条件 短繊維混入率	スランプ cm	空気量 %	コンクリート温度 ℃	外気温 ℃
21-12-20BB 0.1%	11.5	4.1	14.0	9.0
21-12-20BB 0.3%	11.5	3.5	18.0	13.0
21-12-20BB 0.5%	10.5	3.6	15.0	15.0
目標値	12.0±2.5	4.5±1.5	—	—

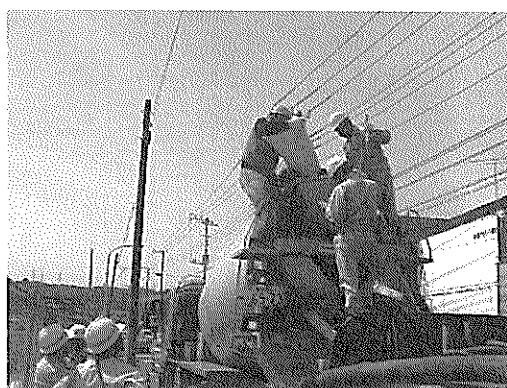
7. 施工量（実績）：

混入率 (%)	施工量 (m ³)
0.1	3.77
0.3	3.81
0.5	1.18

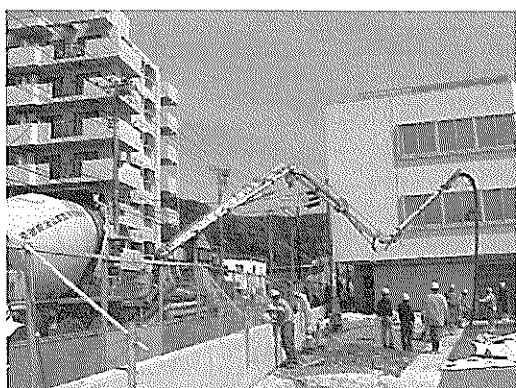
8. 工事状況写真：



a) PVA 短繊維



b) アジテータ車への投入状況



c) 現場状況・圧送状況



d) 打込み状況

港湾空港技術研究所資料 No.1087

2004.9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 あんざい

Copyright © (2004) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。