

高炉スラグ微粉末 (6 000 cm²/g) を用いた鋼橋のPCプレキャスト床版の検討

酒井 秀昭*1・横山 博司*2・高野 茂晴*3・前田 悦孝*4

1. はじめに

第二東名・名神高速道路においては、新技術・新工法の採用による工事費の削減、施工の省力化および工期の短縮を目的として、種々の新たな取組みが行われている。

鋼桁橋においては、場所打ちRC床版を有する桁間隔3 m程度の鋼桁構造が広く用いられてきた。第二東名・名神高速道路においては、厚板鋼材の製造技術および溶接技術の進歩による主桁の大断面化により、主桁本数を減少させ、製作の合理化による工事費の削減および省力化等を目的に、PC床版を有する桁間隔6 m程度の少数鋼桁構造が開発され、全面的に採用されている。このPC床版の更なる合理化・工期の短縮および工事費の削減を目的として、工場製作PCプレキャスト床版が採用されている¹⁾。PCプレキャスト床版に用いるコンクリートは、プレテンション方式を用いることなどから、一般に早強ポルトランドセメントによる設計基準強度50 N/mm²の高強度コンクリートが用いられている。

従来は、橋梁下部工等の設計基準強度30 N/mm²程度以下のコンクリートに、主に経済性から高炉セメントB種が広く用いられている。しかし、PC構造物等の高強度コンクリートの構造物においては、主に、初期材齢における強度確保等から早強ポルトランドセメントが広く用いられている。早強ポルトランドセメントは、自然地盤を掘削し石灰岩を採取するとともに、その製造過程において多量のCO₂を排出することなどにより、環境への負荷が比較的大きい材料である。

近年、高強度コンクリートに高炉スラグを利用するため、初期材齢の強度の増加を目的として通常の高炉スラグをより微粉末としたタイプの製品が開発されており、PCプ

レキャスト製品に試験的に採用されている²⁾。高炉スラグ微粉末を早強ポルトランドセメントの代替(置換率50%)として用いる場合は、高炉スラグが製鉄所の副産物であることから、環境への負荷が大幅に低減できること³⁾、一般に耐久性が向上することなどの大きなメリットがある⁴⁾。

本稿は、高炉スラグ微粉末を早強ポルトランドセメントに一部置き換えて用いるPCプレキャスト床版の適用について、検討を行ったものである。

2. 高炉スラグ微粉末について

2.1 高炉スラグ微粉末の製造

高炉スラグは、溶鉱炉で銑鉄を製造する際に、溶融して出てくる鉄以外の成分で、これを大量の水で急冷してガラス化したものを水砕スラグと呼んでいる。この水砕スラグを乾燥・微粉碎したものと少量の石膏とを混合したものが高炉スラグ微粉末として製品化されている。

一般に高炉セメントに用いられる高炉スラグの比表面積は4 000 cm²/g程度であるが、今回対象とするのは6 000 cm²/gであり、早強ポルトランドセメントを使用した配合に対して50%程度置き換えても、若干の配合の修正で同等程度の強度が発現する⁵⁾。

水砕スラグと高炉スラグ微粉末の製造工程の一例を図-1示す。

2.2 高炉スラグ微粉末の使用による地球環境の保全

高炉スラグ微粉末を高強度コンクリートに利用することにより、以下に述べるような地球環境の保全に関する利点がある。

① 産業副産物のリサイクル：高炉スラグ微粉末は、高

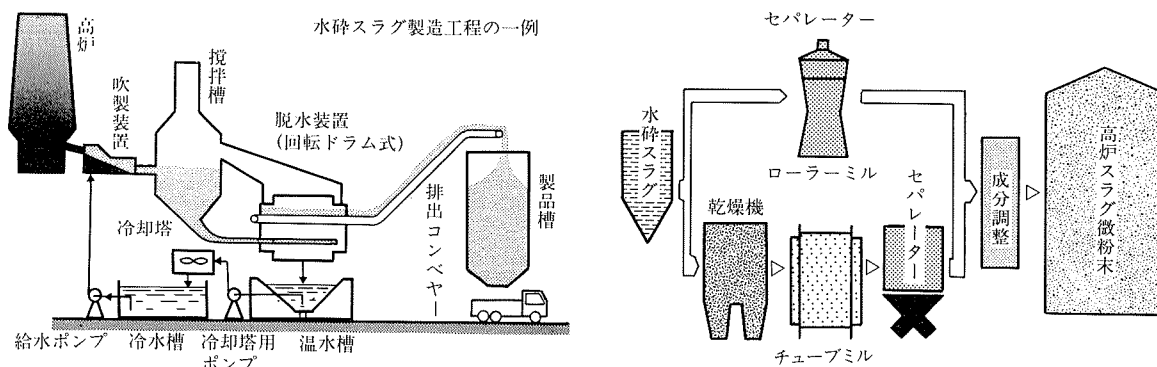


図-1 水砕スラグと高炉スラグ微粉末の製造工程

*1 Hideaki SAKAI: 日本道路公団 中部支社 豊田工事事務所 工事長

*2 Hiroshi YOKOYAMA: (株)安部工業所 技術本部 副本部長

*3 Shigeharu TAKANO: (株)安部工業所 技術本部 部長代理

*4 Yoshitaka MAEDA: 新日鐵高炉セメント(株) 技術開発センター 課長

表-1 省資源・省エネルギーの実態

セメント1tあたり		石灰石 (kg)	石炭 (kg)	電力 (kwh)	CO ₂ (炭素換算量)* (kg)
セメント(N)		1 049	110.4	104.2	207.2
N+スラグ(50%)	セメントからの発生量	525	55.2	52.1	103.7
	スラグからの発生量	0	1.4	26.7	5.0
	合計	525	56.6	78.8	108.7

*：炭素換算：石灰石×0.11，石炭×0.69，電力×0.15

表-2 コンクリートの配合（設計基準強度50 N/mm²）とフレッシュコンクリートの性状

結合材の種類	スラグ置換率 (%)	水結合材比 (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能減水剤 (・C%)	フレッシュコンクリートの性状	
				水 W	セメント C	スラグ BFS	細骨材 S	粗骨材 G		スランブ (cm)	空気量 (%)
H	0	41.0	45.0	155	378	—	827	1 019	0.85	11.0	2.5
H+BFS50	50	37.0	42.0	155	210	209	752	1 051	0.65	10.0	2.1

注) H：早強ポルトランドセメント単体の配合

H+BFS50：早強ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末 6 000 cm²/g 50%置換の配合

炉で銑鉄を製造する際に副産されるものであり、資源のリサイクルという観点から有効である。

- ② 自然保護：高炉スラグ微粉末をセメントに置き換えることにより、セメントの原料として使用する石灰石などの天然資源の採取量を減らすことができ、資源保護の観点から有効である。
- ③ 省エネルギー：高炉スラグ微粉末は、副産された水砕スラグを乾燥・粉砕して製造するため、セメントのような焼成工程がなく、燃焼用のエネルギーコストが削減できる。
- ④ 地球温暖化の抑制：高炉スラグ微粉末のセメント・コンクリート分野への利用によって、上記のような石灰石 (CaCO₃：燃焼時に44%のCO₂を発生させる) や燃焼エネルギーの削減とともに粉砕電力も削減できることから、トータルとしてCO₂の発生が大幅に抑制される (表-1) ⁶⁾。

2.3 高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの特性

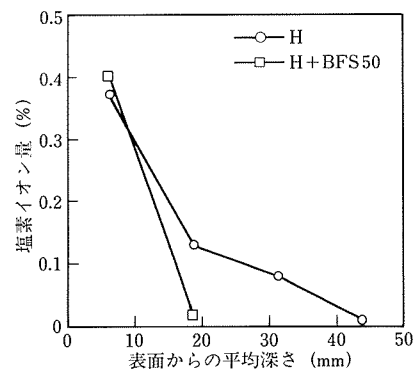
高炉スラグ微粉末は普通ポルトランドセメントと混合した場合、普通ポルトランドセメント単体では得られない以下の優れたコンクリートの特性が得られる ⁵⁾。

- ① 水密性が向上する。
- ② 塩化物イオン浸透抑制による鉄筋の発錆抑制に効果がある。
- ③ アルカリシリカ反応の抑制に効果がある。
- ④ 粉末度の大きい高炉スラグ微粉末を使用することにより、ブリーディングが少なく流動性に優れる。
- ⑤ 初期強度の向上を図り、高強度のコンクリートを得ることができる。

2.4 塩害に対する耐久性向上

表-2に示した配合の供試体について、塩化ナトリウム水溶液 (NaCl 10%水溶液) に1年間浸漬したときの塩素イオン浸透量を調べた。その結果を図-2に示す。

早強セメント単体に比べ高炉スラグ微粉末で置換した場合、塩素イオン浸透量は少なく、浸透深さも小さくなっていることが確認された。したがって、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは塩素イオンの浸透に対して優れており、耐塩害性に対して有利で、耐久性の向上を図ることができる ⁵⁾。



注) H：早強ポルトランドセメント単体の配合

H+BFS50：早強ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末 6 000 cm²/g 50%置換の配合

図-2 塩素イオン浸透深さ

表-3 中性化促進試験結果

結合材の種類	中性化深さ (mm) *1					圧縮強度 (N/mm ²) *2	
	1 週	2 週	4 週	8 週	13 週	開始時	終了時
H	0	0	0	0	0	65.5	64.7
H+BFS50	0	0	0	0	0	60.2	60.9

*1：中性化「0」はほとんど中性化しておらず、目視による中性化深さの測定が困難なものを示す。

*2：圧縮強度の「開始時」は中性化促進試験開始前 (供試体成型後28日)、「終了時」は中性化促進試験開始後13週。

注) H：早強ポルトランドセメント単体の配合

H+BFS50：早強ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末 6 000 cm²/g 50%置換の配合

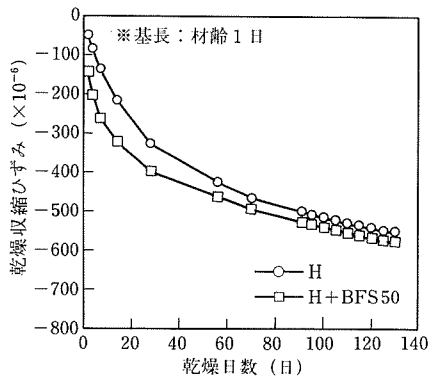
2.5 中性化について

表-2に示した配合の供試体について、中性化促進試験 (CO₂濃度10%) を行った。その結果を表-3に示す。高炉スラグは一般に中性化に対しては不利とされているが、本試験の範囲内では水結合材比が小さいことなどにより早強セメント単体の場合と同様に、試験開始後13週まで中性化は認められなかった ⁵⁾。

本結果より、試験室レベルでは中性化に対して問題がないことを確認している。

2.6 乾燥収縮

表-2に示した配合の供試体について、乾燥収縮ひずみ (自己収縮を含む) を測定した。その結果を図-3に示す。高炉ス



注) H : 早強ポルトランドセメント単味の配合
 H+BFS50 : 早強ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末
 6 000cm²/g 50%置換の配合

図-3 乾燥収縮ひずみと乾燥日数の関係

ラグ微粉末置換50%の場合では、早強ポルトランドセメント単体より、初期の乾燥収縮量は増加する結果となった。しかし、乾燥日数が4週程度以降は、両者の差異は小さくなり、ほぼ同等となった⁵⁾。この初期収縮ひずみは、大型構造物や大型セグメント等では影響があるので注意を要する。

3. PCプレキャスト床版について

第二東名・名神高速道路においては、厚板鋼材の製造技術および溶接技術の進歩等による主桁の大断面化により、主桁本数を減少させ、製作の合理化による工事費の削減および省力化等を目的に、図-4に示すようなPC床版を有する桁間隔6m程度の少数鉄桁構造を開発し、全面的に採用している。また、このPC床版の更なる合理化・工期の短縮および工事費の削減を目的として、図-5に示すような工場製作PCプレキャスト床版が採用されている。

4. 高炉スラグ微粉末のPCプレキャスト床版への適用検討

4.1 適用にあたっての課題と検討

高炉スラグ微粉末をPCプレキャスト床版へ適用するにあたっての課題は、以下に示すとおりである。

- ① コンクリートの配合
- ② コンクリートの収縮
- ③ 実床版における施工性
- ④ 実床版における収縮および変形

①に関しては、PCプレキャスト床版製作PC工場において、試し練りを実施し、適切な配合を決定した。

②に関しては、①で決定した配合のコンクリートに関して、試験室にて蒸気養生を考慮した収縮および乾燥収縮について試験を行い、材料としての収縮特性を確認した。

③、④に関しては、配合を検討したPC工場において図-5に示すPCプレキャスト床版と同等の実物大試験体を製作し、施工性および収縮特性を確認した。この場合、現状の早強ポルトランドセメントを用いた配合の試験体と、①で決定した配合の高炉スラグ微粉末を用いた試験体を各1体製

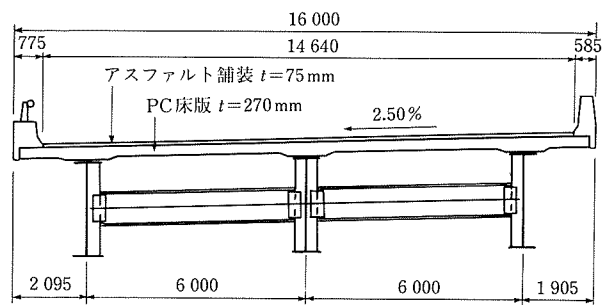


図-4 鋼少数鉄桁(3主桁)標準断面図

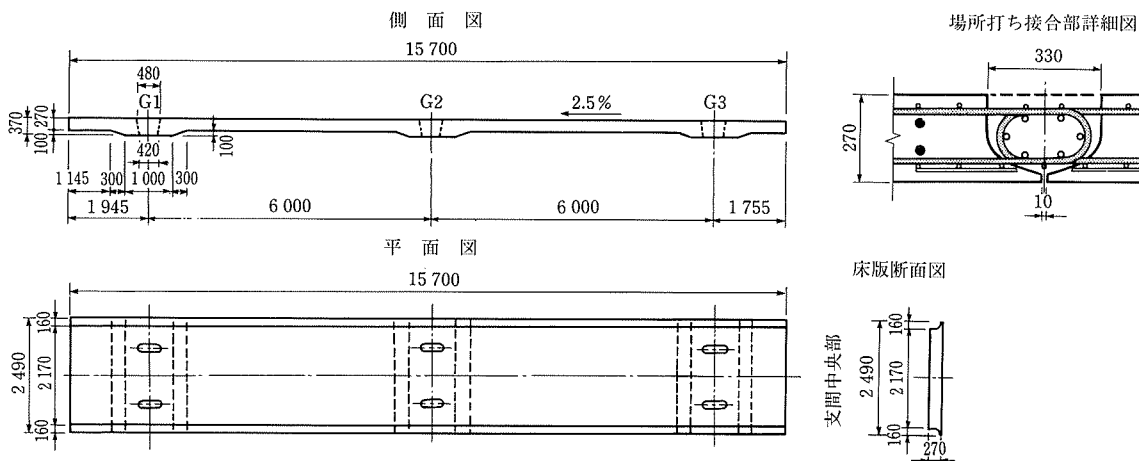


図-5 PCプレキャスト床版

表-4 早強コンクリートの示方配合 (設計基準強度50 N/mm²)

結合材の種類	スラグ置換率 (%)	水結合材比 (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能減水剤 (・C%)	フレッシュコンクリートの性状	
				水 W	セメント C	スラグ BFS	細骨材 S	粗骨材 G		スランプ (cm)	空気量 (%)
H	0	37.0	39.0	146	395	—	694	1 101	0.5	8.0	4.5

作り、比較検討を行った。

本検討においては、現状の早強ポルトランドセメントのみを用いた配合(表-4)のコンクリートと高炉スラグ微粉末を用いた配合(早強ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末6 000 cm²/gを50%置換の配合)のコンクリートについて比較し、適用の妥当性を検討した。

なお、本検討では、上記前者の配合を“H”もしくは“早強”、後者の配合を“H+BFS”もしくは“高炉”と示すことを基本とする。また、温度補正ではすべてコンクリート線膨張係数を1×10⁻⁵/°Cとしている。

4.2 コンクリートの配合

(1) 配合条件

高炉スラグ微粉末をPCプレキャスト床版へ適用するにあたり、以下の項目を配合条件として配慮し、製作PC工場において、適切なコンクリート配合の検討を行った。

- ① PC導入時圧縮強度：材齢16時間で35 N/mm²
- ② 配合強度：58 N/mm² (標準養生 材齢28日)
- ③ 高炉スラグ微粉末置換：置換率50%
- ④ スランプ：作業性を考慮し、12±2.5 cm
- ⑤ 空気量：4.5±1.5%
- ⑥ 使用材料：表-5参照

表-5 高炉スラグ微粉末使用PCプレキャスト床版使用材料

使用材料	種 別
セメント(C)	早強ポルトランドセメント(比重 3.13)
細骨材(S)	揖斐川産川砂(比重 2.61)
粗骨材(G)	揖斐川産川砂利(比重 2.64)
混和剤(AD)	チューポール HP-11(比重 1.09)
A E 剤(AE)	チューポール AE 300
水(W)	上水道水(比重 1.00)
混和材(BFS)	高炉スラグ微粉末 6 000 cm ² /g(比重 2.91)

(2) 配合の検討

PC工場の実績に基づいた水セメント比W/C=36%、細骨材率S/a=41.5%を基本配合とし、W/Cを±3%振った3種類の配合について試し練りを実施し、(1) 配合条件①、②の強度を満足するW/C=34%の表-6に示す配合を決定した。

この表-6に示す配合についてPC工場での設備を用いて実機練りを実施し、本配合がPCプレキャスト床版製造における配合条件を満足することも確認した。

表-6 試し練りより決定した示方配合

結合材の種類	スラグ置換率(%)	水結合材比(%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能減水剤(C%)
				水 W	セメント C	スラグ BFS	細骨材 S	粗骨材 G	
H+BFS50	50	34.0	41.1	142	209	209	723	1 048	0.60

4.3 コンクリートの収縮

(1) 概 要

試し練りで決定された配合のコンクリートについて、試験室における乾燥収縮試験および自己収縮試験を行い、コンクリートの収縮特性に関する確認を行った。本収縮特性に関してはPCプレキャスト床版を製造するPC工場の標準的蒸気養生(図-6)を考慮した。

本試験室における収縮特性試験に用いたコンクリートに

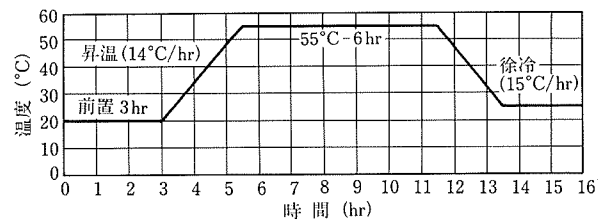


図-6 蒸気養生の温度パターン

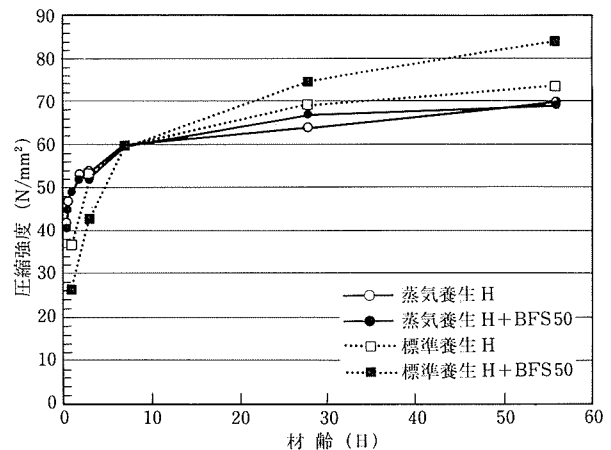


図-7 圧縮強度試験結果

ついて、圧縮強度、弾性係数に加えて引張強度、曲げ引張強度の各強度特性に関して試験を実施し、高炉と早強が同等の強度性状を示すことも確認した。これらのうち、圧縮強度試験結果を図-7に示す。

(2) 乾燥収縮

乾燥収縮の測定は、JIS A 1129「コンクリートの長さ変化試験方法」に準じて測定した。具体的な計測は以下に示すとおりである。

蒸気養生の場合：打込み蒸気養生後16時間で脱型し、その後恒温恒湿室内(20±2°C, 60±5% RH)にて養生し、材齢1日(24時間)を基長として計測を行った。

標準養生の場合：養生後16時間で脱型し、以後水中養生を行い、材齢7日を基長として計測した。計測期間は、供試体を恒温恒湿室内(20±2°C, 60±5%RH)で保存した。

測定結果(図-8)より以下のことが分かる。

- ① 一般的な傾向と同様に、全体的に標準養生に比較して蒸気養生の方が収縮量は小さい傾向にあった。
- ② 標準養生の場合においては、4週までの初期材齢では高炉の方が収縮量は大きいですが、その後、材齢とともに高炉と早強の収縮量と材齢の関係は同等となる傾向を示す。
- ③ 蒸気養生の場合においては、初期において高炉の方が早強に比較して収縮量は100μほど大きいですが、長期的には両者の差は小さくなる傾向にある。標準養生の場合の傾向を考慮すれば、この場合にも長期的には高炉と早強の収縮量は同等になるものと推察

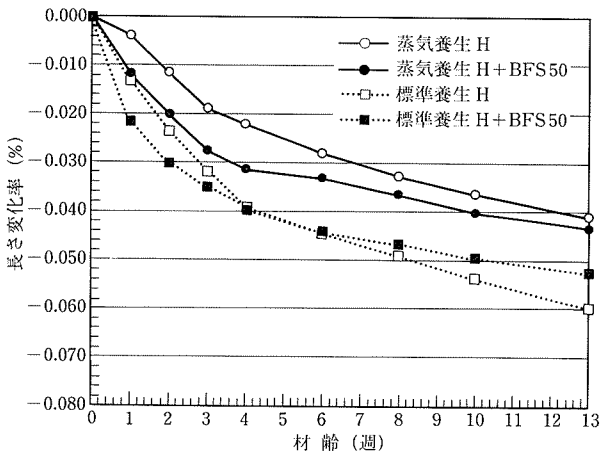


図-8 コンクリートの乾燥収縮

される。

全体的に、高炉の方が早強に比較して初期において収縮量が大きい傾向を示すのは、高炉の方が6%ほど粉体量は大きい(表-4, 6参照)こと、および高炉スラグ微粉末を用いた場合には、早強ポルトランドセメントと比較して小さい径の細孔が多く、毛細管張力が大きいことによるものと考えられる。

長期的には、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは水和の進行により無混和のコンクリートよりも組織が緻密化することで長期強度が増加し、水分逸散量も小さくなることより収縮量は小さくなるものと考えられる。

(3) 自己収縮

自己収縮の測定は、JCI自己収縮研究委員会報告の「セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(案)」⁷⁾に準じて測定した。また、JIS A 6204 付属書1によりコンクリートの凝結(始発時間)を測定した。

供試体寸法は、10cm×10cm×40cmとし、図-9に示すようにして作成した。型枠脱型後は、供試体をアルミ箔粘着テープ(厚さ0.05mm)でシールし、恒温恒湿室内(20±2℃, 60±5%RH)で測定した。供試体打込み時を基長とし、標準養生と蒸気養生の2通りについて計測を行った。蒸気養生は、図-6の温度条件で実施し、プレストレス導入時を想定した材齢16時間後に脱型した。脱型後の養生は、温度20℃の恒温室にて養生した。

① 標準養生における自己収縮

温度20℃一定条件で試験した標準養生における、始発時を基点とした試験結果を図-10に示す。本試験結果より以下のことが分かる。

- ① 早強の場合は、材齢3日までに収縮量がほぼ収束し、収縮量は150μ弱である。
- ② 高炉の場合の収縮は、材齢20日前後まで続き、収縮量は300μ弱であり、上記に比較して150μほど大きい。
- ② 蒸気養生における自己収縮

蒸気養生の場合には、以下の理由でその初期における自己収縮特性を適切に評価することは難しいと考えられる⁵⁾。

- ① 蒸気養生では短時間にコンクリートの性状が大きく

変化する。

- ② 蒸気養生中において、コンクリートの長さ変化は温度の影響が大きく、その補正を適切に行うことが難しい。

よって、試験体温度が落ち着く脱型直後の材齢17時間を基点として自己収縮を評価するものとし、その結果を図-11に示す。

本結果より以下のことが推定できる。

- ① 早強の場合には、自己収縮が見られず、蒸気養生中に自己収縮が完了したものと考えられる。
- ② 高炉の場合には、材齢20日前後まで収縮し、収縮量は100μ程度である。

蒸気養生を考慮した自己収縮の研究事例は少なく、今回の試験結果よりその性状を評価することは難しいと考えられる。本結果は、本試験で用いた配合、養生条件のコンクリートに関して自己収縮を推定する基礎資料になると考えられる。

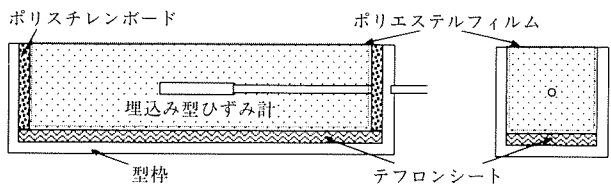


図-9 自己収縮測定供試体の打込み時の状況

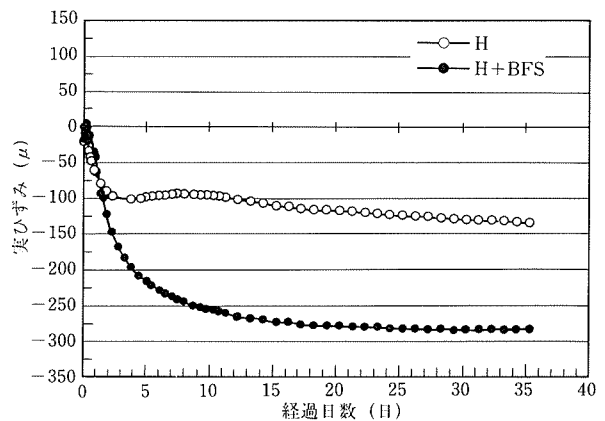


図-10 雰囲気温度：20℃一定 始発時基点の自己収縮(標準養生)

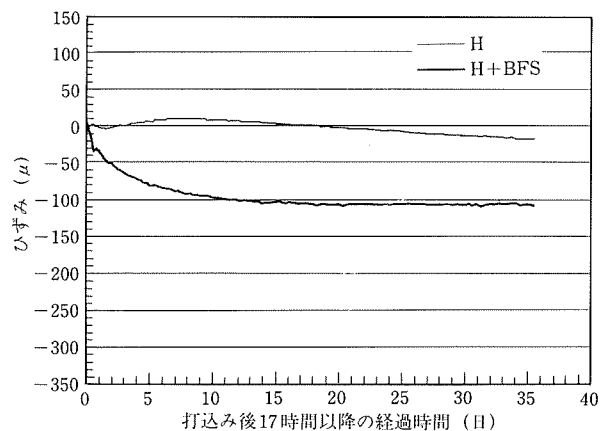


図-11 17時間以降のひずみの変化(蒸気養生)

(4) ま と め

PCプレキャスト床版に用いる今回の対象配合および養生条件のコンクリートについて実施した乾燥収縮、自己収縮の試験結果より得られた収縮特性についてまとめると、以下ようになる。

- ① 高炉と早強の全体的な収縮量は初期において高炉の方が大きいですが、長期的には、高炉と早強の収縮量は同等であると推察される。
- ② 高炉は、早強の場合に比較して自己収縮は大きい。
- ③ 高炉を用いた場合、蒸気養生後（17時間）から材齢20日前後まで自己収縮が増加する。その値は100 μ 程度である。
- ④ ①～③より、とくに蒸気養生の場合に、高炉は初期において自己収縮が主因となり早強に比較して収縮量が大きく、長期的には、高炉の特性により、高炉と早強の収縮量は同等になる傾向があると推察される。

これらの特性は材料に関するものであり、PCプレキャスト床版における収縮量に関しては、配筋および環境条件等の影響も考慮して評価する必要がある。

4.4 実床版の施工性

(1) 概 要

図-5に示すPCプレキャスト床版へ高炉スラグ微粉末を適用するにあたり、PC工場が高炉と早強の実物大試験体をそれぞれ1体製作し、実床版の施工性について確認した。

今回製作した実物大試験体の状況を写真-1に示す。



写真-1 実物大試験体の保管状況

(2) 施工性について

PCプレキャスト床版の一般的な製造工程は、

- ① 型枠セット
- ② 鉄筋、PC鋼材配置
- ③ PC鋼材緊張
- ④ コンクリート打設
- ⑤ 蒸気養生
- ⑥ プレストレス導入
- ⑦ 製品保管

の順序である。①～⑥の作業を24時間で行う工程が最も効率的である。

本工程を考慮し、4.2(1)に示すようにプレストレス導入強度35N/mm²発現に必要な蒸気養生時間を16時間としてコンクリート配合を決定した。

本実物大試験体製作において、コンクリート打設、養生、プレストレス導入、および製品保管等の作業性に関して高炉と早強について比較した結果、両者の作業性に差がないことが確認できた。そして、今回の実物大試験体製作（製作から製品保管）において高炉スラグ微粉末を用いたPC床版に有害な変形、ひび割れなどが観察されていないなど、早強の試験体と比較してとくに問題となる点も認められていない。よって、高炉スラグ微粉末のPCプレキャスト床版への適用は実用的に問題ないと考えられる。

4.5 実床版における収縮特性

(1) 概 要

従来より高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、収縮（自己収縮を含む）が大きいと言われている⁸⁾。

そこで、4.4に示す実物大試験体製作時において、蒸気養生開始よりコンクリートのひずみを計測し、実床版における収縮特性の確認を行った。

(2) ひずみ計測結果

図-5のG1、G2、G3およびその中間の5点で、床版中央ラインの断面中央部でひずみを計測した。各測定位置でのひずみ計測結果は同様の挙動を示した。G1とG2の中間点計測結果の高炉と早強の比較を図-12、13に示す。図-12には、蒸気養生開始からのひずみ計測位置でのコンクリート温度履歴、および外気温度変化を示す。図-13に

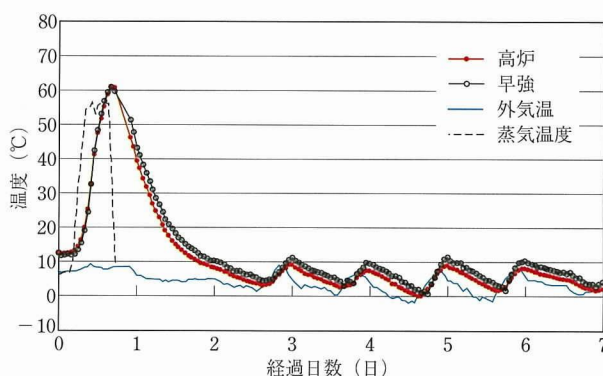


図-12 実床版の温度履歴

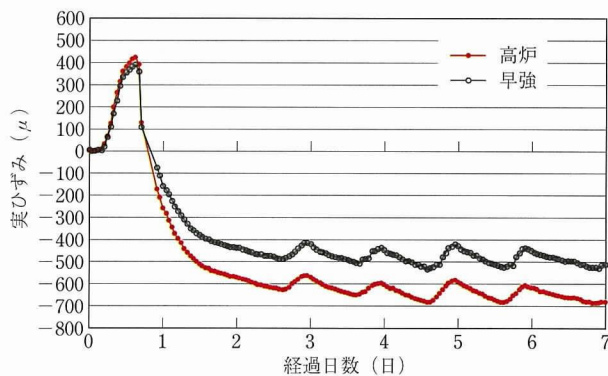


図-13 実床版の全実ひずみの挙動

は、計測位置での、収縮（自己収縮、乾燥収縮）、プレストレス、プレストレスのクリープ、および温度変化の影響をすべて含んだ実床版コンクリートのひずみ履歴を示す。

図-12、13の比較より材齢3日までは実床版コンクリートのひずみは蒸気養生温度履歴の影響を強く受けていると考えられる。この蒸気養生による温度の影響を分析することは難しく、実床版コンクリートの収縮は、蒸気養生温度の影響が薄れる材齢3日を基点として、計測ひずみを補正して求めるのが適切であると考えられる。本補正は、蒸気養生を考慮した材料試験結果（図-11参照）による材齢3日までの高炉と早強の自己収縮の差が50 μ 程度であり、実床版では配筋などによりこの差が減少すると考えられることより、実用的には妥当であると判断される。

(3) 実物大試験体の収縮特性

前項(2)の検討結果より、図-13に示す全ひずみ履歴を図-12の温度履歴に基づき温度補正を行い、材齢3日を基点として実床版コンクリート収縮ひずみの履歴を求めた。高炉と早強のこの収縮ひずみの比較を図-14にまとめて示す。ただし、ここで求めた収縮ひずみには、プレストレスによるクリープの影響が含まれる。

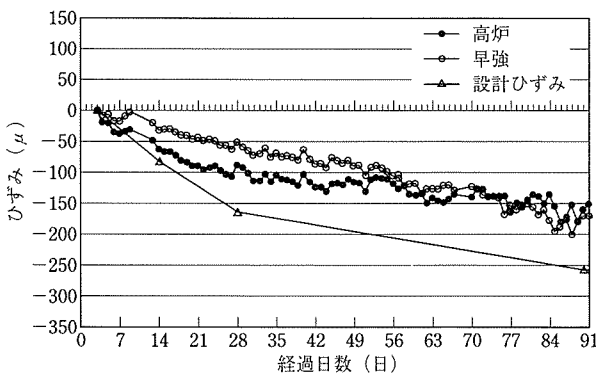


図-14 実床版の材齢3日を基点とした補正ひずみと設計ひずみ

現行の「道路橋示方書」⁹⁾の設計値（材齢3日以降の乾燥収縮=200 μ 、クリープ係数=2.6）を考慮した実床版の収縮量を求め、上記計測結果の図-14に設計ひずみとして示す。

この図-14より以下のことが分かる。

- ① 4.3の材料試験と同様に、高炉は早強に比較し初期において収縮は大きいですが、長期では同等となる。
- ② 高炉と早強の計測ひずみは、現行の設計条件より算定した実床版の設計収縮ひずみより小さく、この設計値を満足する。

以上の実物大試験体のひずみ計測結果より、高炉スラグ微粉末を用いたときの収縮量は、長期的には早強と同等の収縮量を示すこと、および現行「道路橋示方書」に基づく設計収縮量を満足することより、高炉スラグ微粉末のPCプレキャスト床版への適用は、設計的には問題ないと考えられる。

4.6 検討結果のまとめ

高炉スラグ微粉末をPCプレキャスト床版へ適用するにあ

たり、配合、養生条件を決定し実物大試験体製作、および蒸気養生を考慮した材料試験を行い、下記事項が確認された。

- ① 早強の配合よりも水セメント比を3%低い配合とすることにより、早強と同等以上の初期強度特性が得られる高炉の配合を決定することができた。
- ② コンクリートの収縮に関する材料試験により、高炉の方が初期収縮量は大きいですが、長期的には高炉と早強の収縮量は同等になると推察される結果が得られた。
- ③ 実床版を用いて、コンクリート打設、プレストレス導入、および製品保管に関する作業性を検討し、高炉は早強と同等の施工性であることを確認した。
- ④ 実床版における収縮特性は、材料試験結果と同様に高炉の方が早強よりも、初期に収縮量は大きいですが、高炉の収縮量は、現行の設計値を満足すること、および長期では早強と同等となることより、高炉の採用は設計的に問題ないことが確認された。

なお、今回作成した実物大試験体より資料を採取し、中性化試験、塩素イオン浸透試験を実施し、2章2.3、2.5に示す結果と同様な結果が得られており、従来の実績で示されている耐久性向上に関しても確認されている。

以上のように、高炉スラグ微粉末をPCプレキャスト床版へ適用するにあたり、考えられる課題について検討し、実用的に問題ないことが確認された。

5. まとめ

第二東名・名神高速道路における鋼鈹桁橋において、製作の合理化、コスト縮減、および省力化等を目的として工場製作PCプレキャスト床版が採用されている。本PCプレキャスト床版に、原材料である高炉スラグが製鉄所の副産物であることより環境への負荷が大幅に低減できること、および耐久性が向上することなどの利点に着目し、近年PCプレキャスト製品への採用実績のある高炉スラグ微粉末6000 cm^2/g を適用することを検討した。

配合試験、材料実験、および実物大PCプレキャスト床版製作確認試験実施において、現状の早強ポルトランドセメントのみを用いた配合のコンクリート（早強）と高炉スラグ微粉末を用いた配合（早強ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末6000 cm^2/g を50%置換の配合）のコンクリート（高炉）について比較し、適用の妥当性を検討し、下記事項の確認ができた。

- ① 早強の配合を若干修正することにより同等の強度特性を有する高炉の配合を決定できる。
- ② 高炉の場合、初期収縮は大きいですが長期的には早強と同等であり、設計的、実用的に問題ない。
- ③ 実床版製作での、蒸気養生、プレストレス導入、製品保管等の施工性において高炉と早強の差はとくに見られない。

以上のように、今回の実物大試験体製作等の確認により、PCプレキャスト床版への高炉の採用は問題ないことが確認された。

今後、本検討結果に基づき、環境保全、耐久性向上の有効性によりPCプレキャスト床版への適用と実用化が図られ、高炉スラグ微粉末の幅の広い活用が推進されることを期待するものである。

6. おわりに

今回の実験研究にあたり、二羽淳一郎 東京工業大学教授、梅原秀哲 名古屋工業大学教授、藤井 卓 東京農工大学名誉教授に、計画からまとめに至るまでご指導をいただいたことに対して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 水口, 藤田: 第二東名・名神高速道路の橋梁概要—名古屋建設局—, プレストレストコンクリート, Vol.41, No.2, pp.27~33, 1999
- 2) 石田, 江崎, 前田: 高炉スラグ微粉末を用いたPC橋の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.3, pp.45~50, 2000
- 3) 藤井: 環境にやさしいコンクリート, pp.85~91, 鹿島出版会, 2000
- 4) 土木学会: コンクリートライブラリー第86号, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針, 1986
- 5) 日本材料学会: 高炉スラグ微粉末を用いた高耐久性プレストレストコンクリート構造物の開発, 1998
- 6) 鉄鋼スラグ協会: 鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用について, 1991
- 7) 日本コンクリート工学協会: 自己収縮研究委員会報告, 1996.11
- 8) 田澤, 宮沢, 佐藤: 高炉スラグ微粉末を用いたセメントペーストの自己収縮, 第19回セメントコンクリート研究討論会論文報告集, pp.23~28, 1992
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編, 1986.12

【2001年7月31日受付】



刊行物案内

- 複合橋設計施工規準(案)
- PC構造耐震設計規準(案)
- PC斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準(案)—抜粋—

(平成11年12月)

頒布価格: 3点セット 5 000円 (送料600円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会