

## 高強度フライアッシュ人工骨材を用いたPC橋の施工

名古屋工業大学教授 大学院工学研究科 正会員 梅原 秀哲  
 日本道路公団 中部支社 構造技術課 正会員 池田 博之  
 株式会社日本ピーエス 技術管理部 正会員 原 幹夫  
 同 上 正会員 ○濱岡 弘二

### 1. はじめに

構造物の耐震性、経済性、景観性等を向上させる観点から、プレストレストコンクリート（以下PCと略す）構造の軽量化が課題となっている。現在、全外ケーブル方式や鋼複合構造等、構造形式による軽量化が進められている一方、材料面では高強度コンクリートの使用で、部材寸法を縮小し軽量化する方法や、人工軽量骨材コンクリートを使用し、単位容積質量を小さくする試みが行われている。

第二東名高速道路発杭川側道橋では、高強度フライアッシュ人工骨材（以下HFAと略す）を用いた高強度軽量コンクリートにより、材料面からの軽量化を図ると共に、構造的、経済性の検討を行った。

使用したHFAは、石炭火力発電所から排出される石炭灰を原料とし、焼成の際の発泡を制御して製造したものである<sup>1), 2)</sup>。本骨材は人工軽量骨材で、JISA 5002「構造用軽量コンクリート骨材規格」に該当するものの、その性能は従来の人工軽量骨材と異なり、軽量でありながら高強度で普通骨材に近い静弾性係数を有するものである<sup>3)</sup>。また、原料が産業廃棄物であり、埋め立て処分等で廃棄処理されていた灰を積極的に有効活用する点で、環境問題に対しても非常に有意義な側面をもっている。

本報告は、HFAコンクリートのPC橋の主桁への適用検討とその効果、および今後の展望について記述する。

### 2. 発杭川側道橋の概要

基本設計では、構造形式は建設省土木構造物標準設計のプレテンション方式単純中空床版橋で設計されていて、側道の線形は橋梁区間が縦断線形のクラウン部に位置し、桁高が橋梁の線形を支配していた。したがって、桁高を低くすることで両端の取付道路の勾配を小さくすることができ、走行性や経済性が向上する。

これらの状況を踏まえ、HFAコンクリートを使用した場合の桁高及び経済性に対する検討を行った。

試設計に当たり、中空床版は他の構造形式に比べ元来桁高が低いことから、構造形式は変えず、コンクリート強度を変化させた。設計条件を表-1に示す。

表-1 橋梁の設計条件

	上り線	下り線
構造形式	プレテンション方式PC単純床版橋	
橋長	22.400 m	21.300 m
けた長	22.300 m	21.200 m
支間	21.600 m	20.500 m
幅員	5.000 m	5.000 m
斜角	左 72° 40' 00"	右 86° 50' 00"
荷重	B 活荷重	

### 3. 設計検討結果<sup>4)</sup>

HFAを使用したコンクリートは120N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度が確認されている<sup>5)</sup>。これを基に、上り線を対象に設計基準強度で50~100 N/mm<sup>2</sup>の範囲における桁高及び桁製作時のコストの試算を行った。検討結果を図-1及び図-2に示す。

桁高ミニマムを条件に試設計をした場合、80N/mm<sup>2</sup>以上の強度域では、桁高が減少するのに対しPC鋼材が増加し、配置が困難となる。また、桁製作コストに着目すると、PC鋼材費が大きく影響し、60N/mm<sup>2</sup>以上になるとコストが増加し、70N/mm<sup>2</sup>を越えると経済効果が薄れてくる。

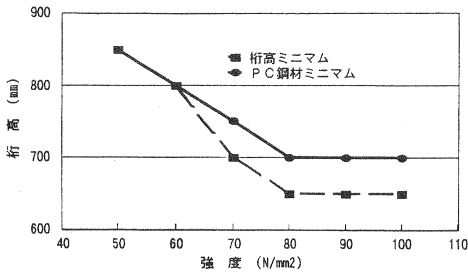


図-1 コンクリート強度と桁高の関係

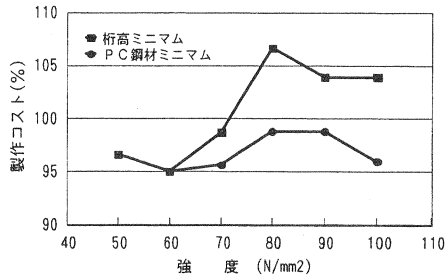


図-2 コンクリート強度と製作コストの関係

以上を総合して、桁高低減効果と経済性をともに考慮し、コンクリートの設計基準強度を  $70\text{N/mm}^2$ 、桁高を  $750\text{mm}$  とした。下り線でも同様の考えで試算を行うと、桁高が  $700\text{mm}$  となる。基本設計との主桁断面形状を比較すると図-3 のようになり、いずれも  $150\text{mm}$  の桁高抑制効果が見られた。

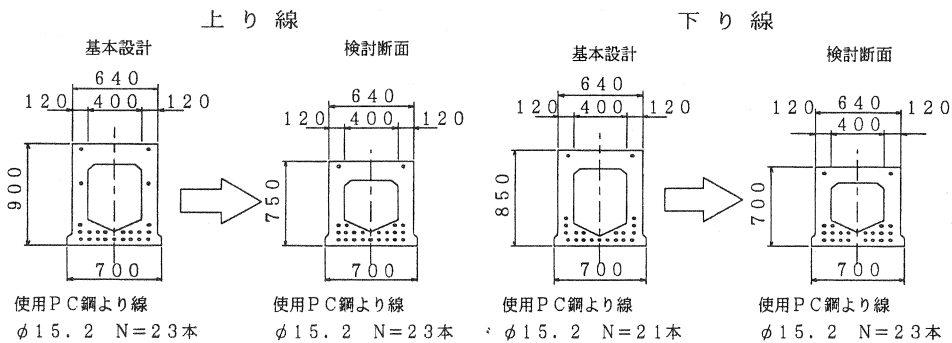


図-3 主桁断面検討結果

#### 4. 施工確認実験

##### 4.1 コンクリートの性状確認実験

施工に先立ち、HFAコンクリートの試験練り及びプラント実機練りを行い、フレッシュ及び硬化コンクリートの性状を確認した。その結果、曲げ及び引張強度はコンクリート標準示方書(土木学会)に記載されている式での計算値とほぼ同等であり、静弾性係数は15%程度小さな数値であった。本実験で用いたコンクリートの配合を表-2、物性値を表-3に示す。

表-2 HFAコンクリートの配合

W/C (%)	S/a (%)	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材(kg)		HFA(kg)		減水剤 (kg)	AE剤 (kg)
				細砂	粗砂	5~10	10~20		
30	44.5	483	145	342	416	202	471	3.623	0.030

表-3 フレッシュ及び硬化コンクリートの物性値

スラブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m³)	圧縮強度(N/mm²)			引張強度 (N/mm²)	曲げ強度 (N/mm²)	静弾性係数 ( $\times 10^4\text{N/mm}^2$ )
				7日	14日	28日			
13.5	4.5	27.0	2080	68.0	79.2	83.5	3.73	7.69	3.33

##### 4.2 施工性確認実験

(1) 充填性、骨材分布の確認

実桁に近い状態に中空枠、疑似PC鋼材、スターラップ鉄筋を配置したモデル桁にてコンクリートの打設実験を行った。その結果、HFAコンクリートは流動性が良いため棒状バイブレーターのみの打設可能であり、中空枠の下面にも確実に充填されていることが確認できた。さらに硬化後、供試体中央断面で切断して5層に区分し、各層での粗骨材分布状況を確認した結果、粗骨材面積率の誤差は図-4に示すように3%以内であった。

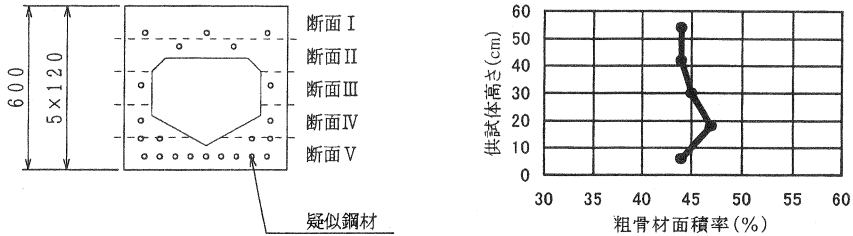


図-4 骨材分布測定結果

(2) 桁天端の仕上げ確認

一般に、軽量骨材コンクリートでは、骨材の浮き上がりが懸念される。今回の場合も不適切な配合であれば同様な傾向にあったが、適度な粘性とワーカビリティをもつ配合を選定することで、浮き上がりが無く通常のコンクリートと同程度に仕上げられた。

4.3 主桁性能確認実験

(1) 実験方法

上り線で使用する実大HFAコンクリートPC桁 (以下HFA桁と略す) を用い、曲げ載荷試験を行い主桁耐力の確認を行った。

また、同一設計基準強度、同一形状の砕石コンクリートPC桁 (以下砕石桁と略す) を同条件で載荷して主桁耐力を比較した。

曲げ載荷試験供試体を図-5に、載荷位置を図-6に示す。

載荷は供用時の応力状態に相当する荷重で100回の繰り返し、計算ひび割れ発生荷重及びひび割れ発生荷重で10回の繰り返しを行った。その後、終局荷重まで載荷し、コンクリートのひずみ、たわみ量、ひび割れ発生荷重及び終局荷重を計測した。

(2) 試験結果

試験結果では、理論値と実験値との比率が、ひび割れ発生荷重でHFA桁が1.26、砕石桁が1.19、破壊荷重でそれぞれ1.11、1.16となり、いずれも十分な耐力を有することが確認された。また、繰り返し載荷試験結果では、供用時応力状態、計算ひび割れ発生荷重及びひび割れ発生荷重載荷時の各載荷時においても、たわみ、ひずみの進行は無く健全であった。

図-7、図-8に載荷荷重とたわみ及びコンクリートひずみとの関係を示す。これらの結果からも、両者に差は無いと判断できる。破壊形態は、いずれもコンクリートの上縁圧縮破壊であった。

ひび割れ発生状況を図-9に示す。砕石桁に比べ、HFA桁はひび割れ本数が多く、広範囲に分散した。また、1本のひび割れ幅は、HFA桁のほうが小さく、ひび割れ発生後のたわみもなだらかであった。

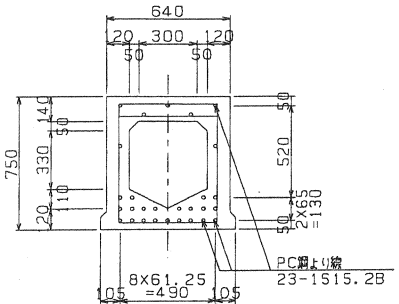


図-5 曲げ載荷試験供試体図

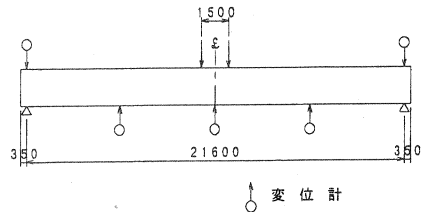


図-6 載荷位置図

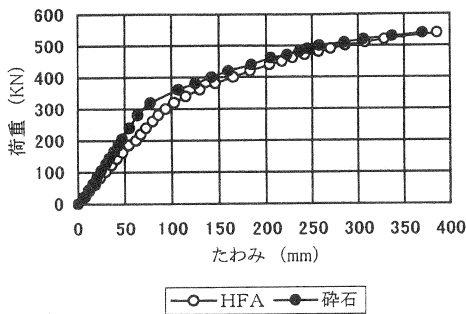


図-7 載荷荷重とたわみとの関係

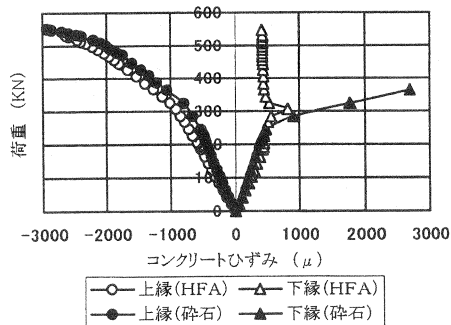


図-8 載荷荷重とひずみとの関係

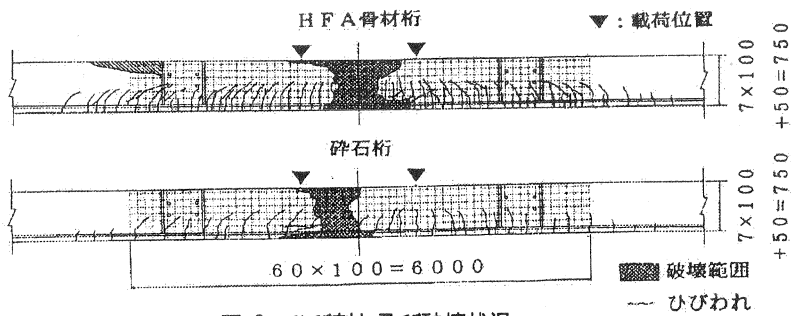


図-9 ひび割れ及び破壊状況

#### 4.4 主桁コンクリートの耐久性確認実験

凍結融解試験による耐久性確認結果を図-10に示す。

HFAコンクリートは、300サイクルで相対動弾性係数が99.6%、質量減少率が-0.2%と良好な状態であった。

一方、砕石コンクリートは強度低下を考慮し、空気を連行していないため、サイクル数の増加に伴い相対動弾性係数が減少したと考えられる。HFAコンクリートの凍結融解抵抗性は、70N/mm<sup>2</sup>以上の高強度域では砕石と同等であるとされる。

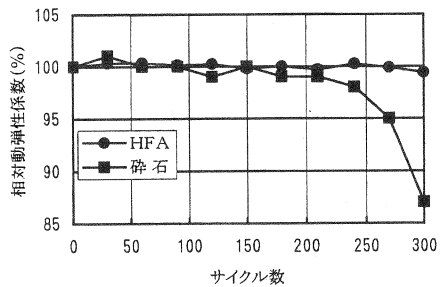


図-10 凍結融解試験結果

### 5. 実橋載荷実験

#### 5.1 静的載荷実験

##### (1) 実験方法

静的載荷実験では橋梁のたわみ、主桁コンクリートひずみの計測を行った。載荷位置は支間中央のみの1断面とし、試験車両を幅員の中心に位置した。

図-11に載荷位置及び計測位置を示す。

##### (2) 実験結果

スパン中央部のたわみ量測定結果を図-12に示す。

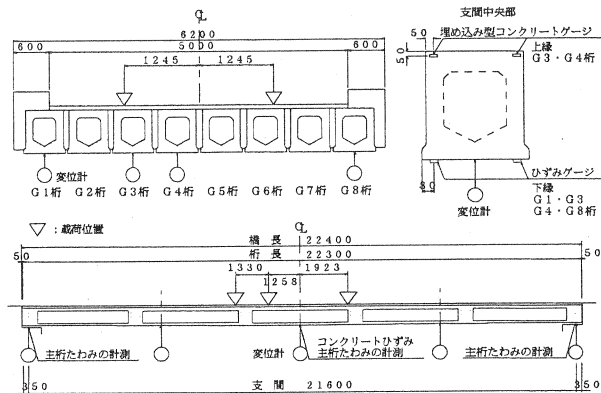


図-11 実橋載荷位置と計測位置

スパン中央部のたわみ量はFEM解析値と実測値を比較すると、実測値が20%程度小さくなった。これは、解析値算出時に使用したコンクリートの静弾性係数が実橋よりも小さいこと、地覆高欄の剛性評価不足によると考えられる。

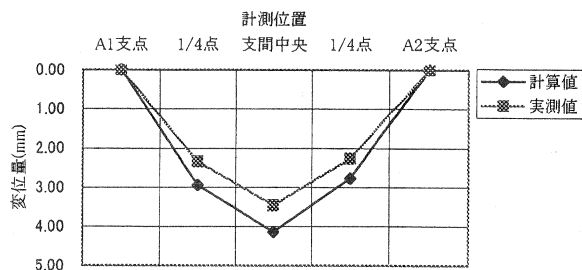


図-12 たわみ量測定結果

## 5. 2 振動実験

### (1) 実験方法

静的載荷時の試験車両を用い、振動実験を行った。載荷方法は試験車両が幅員中央を走行する方法で行い、速度10、20、30、40km/hの各速度における振動性状を計測した。

### (2) 実験結果

代表的な速度20km/h時の支間中央のたわみ量を図-13に示す。

この結果から、本橋梁の固有振動数は約3.81Hzとなった。1次振動モード(固有振動数)を求める式<sup>6)</sup>より得られる計算値は3.96Hzであり、実測から求められた値が近似していることから、実測値は一般的な橋梁の固有振動数の範囲にあると考えられる。また、減衰定数は約1.5%となり、本橋梁が標準的な弾性挙動を示しているといえる。

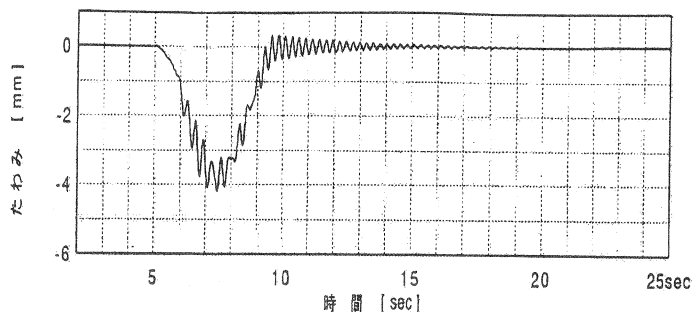


図-13 たわみ量測定結果

これら実橋載荷試験の結果から、一般的な橋梁との大きな差異は見られず、HFAコンクリートを用いた高強度コンクリートPC橋が、十分な機能を有すると判断できる。

## 6. HFAコンクリート採用の効果

### (1) 質量低減による効果

- ① 運搬数量が増加する。  
(コンクリートミキサー車1台当たり0.5m<sup>3</sup>増)
- ② 部材の自重が低減し、部材断面寸法が小さくなる。
- ③ 製造時のプラントミキサーの負荷が低減される。
- ④ 部材を受ける梁、柱、橋梁下部工、下部工基礎の負担が低減される。

### (2) 高強度化による効果

- ① 高応力に耐えられ、部材断面寸法が小さくできる。
- ② コンクリートの耐久性が向上する。

### (3) 発杭川側道橋における効果<sup>7)</sup>

発杭川側道橋において、HFAコンクリートを使用した効果を表-4に示す。

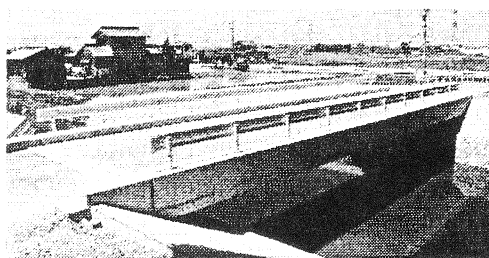


写真-1 発杭川側道橋完成写真

表-4 H F Aコンクリートを使用した効果

		基本設計	実施設計	効果
桁 高	上り線	900 mm	750 mm	橋梁区間の計画高が下がり、道路線形が改良、景観性改良
	下り線	850 mm	700 mm	
主 桁 質 量	上り線	21.53 t/本	16.70 t/本	上下線共 トラッククレーン：180t→160tへの縮小 桁運搬トレーラー：1本/台→2本/台積みへの変更
	下り線	19.39 t/本	15.30 t/本	
横組コンクリート	上り線	14.0 m <sup>3</sup>	11.5 m <sup>3</sup>	桁高減少による横組コンクリートの減少
	下り線	11.4 m <sup>3</sup>	10.2 m <sup>3</sup>	
死荷重反力	上り線	134.3 tf	113.0 tf	支承受担減、耐震性向上
	下り線	121.4 tf	103.4 tf	
基 礎 杭	上り線	φ1000	φ900	杭径の減少、杭容積2割減少(試算)
	下り線	—	—	

## 7. おわりに

今回使用したHFAは人工軽量骨材でありながら、質量以外は天然碎石に匹敵するもので、コンクリートの性能を維持しながら軽量化を図るには最適な材料と思われる。また、シリカヒューム等特殊な混和材料や配合を要せず高強度コンクリートが得られるという経済性が期待できる。天然骨材の枯渇、品質の低下が懸念されている中で、資源の再利用で生産され、人工品で安定した高品質の本骨材は、骨材需要を支える有力な対応策の一つになると考えられる。

発杭川側道橋では、PC橋の原点とも云えるプレテンション工法の単純な構造であるが、高強度軽量コンクリートのPC構造への適合性と有効性を確認することができた。今後、用途に応じた物性確認等検討は必要であるが、プレキャストセグメント工法やPC床版等の大型構造物の軽量化に役立つものと思われる。

最後に本報告を作成するに当たり、高強度人工骨材コンクリート研究会にご協力いただき、誌上を借りてお礼申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1)小谷中昭裕・高倉光昭・志水修身・大神剛章：石炭灰を原料とした人工骨材コンクリートの諸特性に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp405-410，1995
- 2)曾根徳明，石炭灰を主原料とした高強度人工骨材，コンクリート工学，Vol.36，No.12，pp288-293，1995
- 3)曾根徳明，石炭灰で創る高強度人工骨材，セメントコンクリート，No.618，pp122-129，1998
- 4)原幹夫・鈴木裕二・池田博之・鈴木規生・渡邊芳弘・滝本邦彦：高強度人工骨材コンクリートを用いた高強度PC橋の設計施工，軽量コンクリートの性能の多様化と利用の拡大に関するシンポジウム論文集，pp141-148，2000
- 5)原幹夫・中川信治・濱岡弘二・船野浩司：石炭灰を原料とした人工骨材を用いた高強度コンクリートのPCへの適用(その1)，第7回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp801-806，1997
- 6)橋梁振動の計測と解析，橋梁振動研究会，技報堂出版，1993
- 7)平成11年度事業報告，高強度人工骨材コンクリート研究会