

志津見ダムPC橋における 石炭灰(PFBC灰)の有効活用

広島大学大学院工学研究科 佐藤良一
国土交通省中国地方整備局 横部幸裕
中国電力株式会社本社ア総合研究所 中下明文



所属：(社)プレスト・コンクリート建設業協会
発表者：溝垣 道男

1. はじめに

加圧流動床燃焼方式による石炭火力発電所は、発電効率の向上とそれに伴うCO₂排出量削減等による環境負荷の低減をはかる目的で開発され、中国電力その他で稼働している。ここから排出される石炭灰(PFBC灰)は中国地方で年間約10万tとなっており、その有効活用が強く求められてきた。そのため、広島大学と中国電力の共同研究等により種々基礎的研究を行った結果、PFBC灰は、通常のフライッシュに比べCaO、SO₃を多く含有することから自硬性を有し、それを混入したコンクリートは、通常のフライッシュを用いた場合に比べ、早期強度が高く、さらに小さい自己収縮、高い長期強度を有するなど優れた特性が明らかにされた。

そこで、当該コンクリートによるPC桁の実用化を目的として、広島大学を始めとする産官学の共同研究^(注1)を実施した。ここでは、実工場における通常の製品と同様な養生で製作された実大PC桁により、コンクリートの性能、実大PC桁と同様の断面を有する、鋼材のない供試体の収縮、クリープ特性、実大PC桁のPC鋼材の定着性能とプレストレスの損失状況、実大PC桁の曲げ・せん断特性、について通常桁とPFBC灰混入桁により比較・検討を行うことにより、実用に耐えうる構造性能を明確にし、併せて、実用化されたPC桁の荷重応答とひずみの経時変化からその健全性を検証することとした。

本報では、実用化された二つの橋梁のうちプレキャスト工法によるポストテンション方式のT桁橋について報告する。

2. 実用化されたPC桁の健全性の検討

2-1 実用化されたPC桁の概要

実用化されたPC桁は、橋長37.5m、橋の幅が11.5m、桁の高さが2.2mのポストテンション方式の単純T桁橋(国道代替184号にかかる小川尻橋)である。この橋梁において健全性の検証を行う目的で次の実験をおこなった。図2-1に橋梁断面構成、写真2-1に架橋状況を示す。

1) コンクリートの性能確認

- a. PC桁の構造形式および施工時期を考慮したコンクリートの配合
- b. 養生条件と圧縮強度発現

2) ポストテンション方式によるT桁橋の構造性能把握

- a. プレストレス導入状況把握
- b. 試験車輦による静的載荷試験
- c. 周辺環境と長期モニタリング

注；共同研究は、広島大学、国土交通省中国地方整備局、中国電力(株)、(社)プレスト・コンクリート建設業協会による「PFBC灰の有効活用によるPC桁の研究」によるものである。

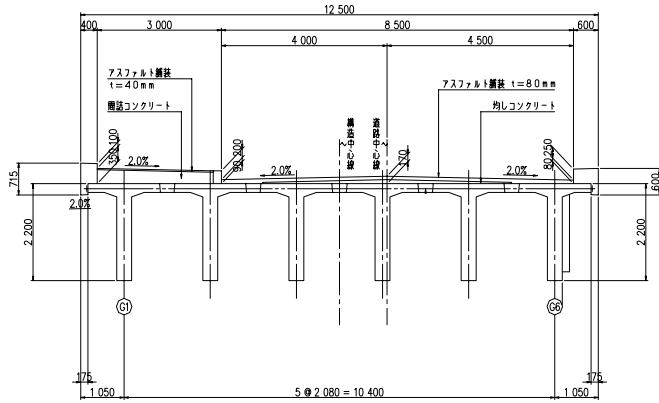


図 2-1 橋梁断面構成



写真 2-1 小川尻橋架橋状況

2 - 2 コンクリートの性能

(1) コンクリートの使用材料と配合

実際の施工に際し、表 2-1 に示す使用材料によるPC桁の構造的および施工性の向上を目的とし、施工時期や養生条件を配慮し配合を決定した。特に、先に行った実大のPC桁による研究に使用したプレテンション方式のPC桁に比べ打設量が多く施工条件の異なるポストテンション方式の桁への適用に際しては、所要のワーカビリティと設計基準強度 $ck=50N/mm^2$ を確保できる配合を表 2-2 のように決定した。

表 2-1 使用材料

使用材料	種類または性質・組成
セメント(C)	早強ポルトランドセメント
細骨材(S)	混合砂(密度 $2.61g/cm^3$ 、粗粒率 2.78)
粗骨材(G)	砕石(密度 $2.69g/cm^3$ 、粗粒率 6.70、最大寸法 20mm)
PFBC 灰	原粉(ワンボ炭、密度 $2.61g/cm^3$)
高性能減水剤	ポリカルボン酸系

ここで、混和材として使用した PFBC 灰の品質は、石炭灰ロッド毎の品質データにより管理してきた実績から暫定管理値として品質保証されたものを使用した。

表 2-2 コンクリート配合

水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)					添加物 (B×%)	
			水	セメント	PFBC 灰	細骨材	粗骨材	混和剤	
			W	C	P	S	G	減水剤	AE 剤
34	40.0	30	170	350	150	643	994	0.85	0.030

(2) 養生条件と発現強度

ポストテンション方式のT桁は、暑中による屋外での製作となることから、蒸気養生は行わず、養生温度は水和熱を利用することとした。打込み後は一週間養生マットと散水による養生を実施したのちに気中暴露した。図 2-1 はコンクリート中の上縁側、中断及び下縁側の温度履歴を示したものであり、最大 80 弱まで上昇しているのが認められる。図 2-2 は、このPC桁と同一場所による養生条件のもとで得られた供試体の強度発現状況を示す。材齢 28 日の圧縮強度、ヤング係数はそれぞれ $55.5N/mm^2$ 、 $3.32 \times 10^4 N/mm^2$ であり、後者については設計で使用した数値 $3.3 \times 10^4 N/mm^2$ と同等であった。

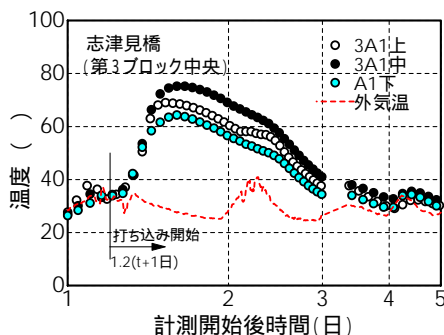


図 2-1 支間中央のコンクリート温度経時変化

志津見ダム付け替え道路橋

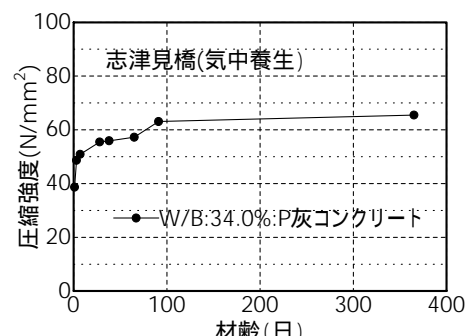


図 2-2 コンクリートの強度発現

(気中曝露) 志津見ダム付け替え道路橋

(3) プレストレスの導入状況の把握

本橋の主桁は、工場製作したプレキャスト桁を現地で組み立て架設するものである。この主桁のプレストレス導入方法はポストテンション方式によるもので、主桁の両桁端からジャッキにより導入している。

図 2-3 (b)に、耳桁支間中央断面とPC鋼材曲げ上げ開始点位置における図 2-3(a)のひずみ計設置位置によるプレストレス導入直後の応力度を示す。支間中央の応力度は、計算値 18N/mm^2 に対して 22N/mm^2 程度であり、所要の導入量を満足するものである。

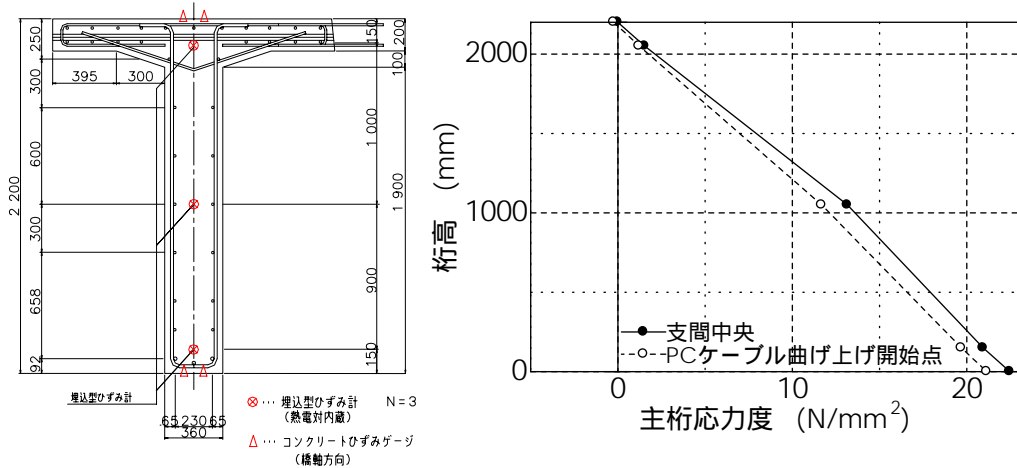


図 2-3 PC 桁の導入直後の応力分布

(1) 試験車輛による荷重応答

実橋による荷重分配の性能確認を行うため、20tトラック 2 台による静的実載荷試験を行った。これによる実測値と格子解析による曲げモーメントにより算出した応力度を比較することにより荷重分配性能の確認を行った。実測値の応力度は、主桁下縁に貼り付けたコンクリートひずみゲージにより測定したひずみと、供試体によるコンクリートのヤング係数から算出した。

載荷試験は、地覆・舗装等が受け持つ剛度による影響を排除するために、主桁・横組み完成時の橋面施工前の段階で実施した。載荷位置は 4 ケース設定して検討したが、そのうちの一例を次に示す。

図 2-4(a)に載荷位置、(b)に(a)載荷荷重による各主桁中央下縁の応力度分布をそれぞれ示す。図 2-4(b)の結果から、G1 主桁支間中央の応力度の計算値が -2.5N/mm^2 に対し実測値が -1.8N/mm^2 と 0.7N/mm^2 小さい結果となり、(b)の各桁での応力度も計算値に対して実測値が平行に安全側に分布している。よって、現行の設計手法である格子解析を用いれば、断面力の視点でも安全側となる結果がえられる。

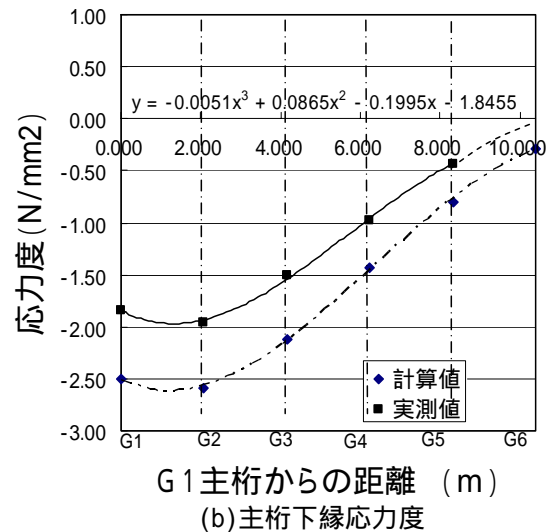
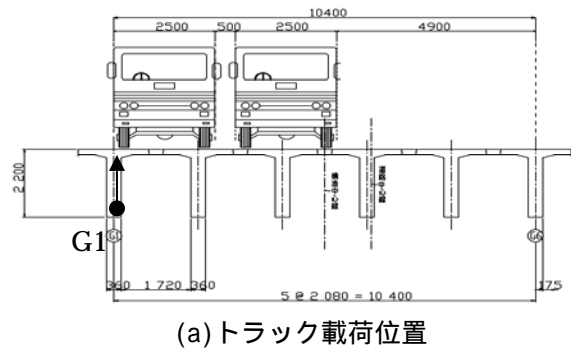


図 2-4 試験車輛による荷重応答

(4) ひずみモニタリング

PC 橋の健全性の検証は、先に導入したプレストレスおよび荷重応答により行われてきたが、PFBC 灰のような新しい混和材を用いた場合には、経時的ひずみ挙動をモニタリングすることにより異常が無いことを確認しておく必要がある。

図 2-5 はコンクリート打ち込み開始時を基点としたひずみの経時変化を、図 2-6 に緊張直後を基点としたひずみの経時変化を示す。蒸気養生された PFBC 灰混入コンクリートは、先に行ったプレテンション方式の実桁断面による試験結果から材齢 500 日における PFBC 灰混入コンクリートの全収縮ひずみは -100×10^{-6} に対し通常コンクリートのそれは -300×10^{-6} であり、収縮ひずみが小さいことが明らかにされているが、水和熱を養生温度として利用した若干の無応力鉄筋が配置された本桁においても、図 2-5 に示すように緊張までのひずみに収縮の影響はほとんど見られない。

プレストレス導入による弾性ひずみが生じた後は、橋面施工が開始されるまで、いずれの高さにおいてもひずみの変化は見られない。同橋面施工が行われるとその自重により、下縁側では 80×10^{-6} 程度圧縮ひずみが減少し、上縁側では 40×10^{-6} 程度引張ひずみが減少する。上縁側のひずみが小さいのは橋面の影響により圆心位置が下縁側に移動したためと考えられ、妥当な弾性挙動を示しているといえよう。

その後、橋面が完成すると緊張開始後 160 日あたりまではひずみの変化はみられず、160 日を超えたあたりからクリープと収縮によると考えられる 100×10^{-6} 程度の全ひずみの増加がみられた。橋梁構造がかなり高い不静定で断面力の再分配も起こっていると考えられるため、ひずみは単調に増加しないが、導入プレストレスが 22N/mm^2 (弾性ひずみで 670×10^{-6}) 程度であることを考慮すると、ひずみ変化量はおおむね妥当で異常は見られない。今後、全ひずみの経時変化を引き続き測定し、クリープ、収縮の影響を定量的に評価し、その健全性を確認する予定である。

6. まとめ

加圧流動床燃焼方式火力発電所から排出される石炭灰(PFBC 灰)をセメントの 30%内割で置き換えた、PFBC 灰混入コンクリートを用いた実大の PC 桁(プレテンション方式)の性能確認をもとに、実用化したポストテンション方式の T 桁橋の導入プレストレス、荷重応答、桁ひずみの経時的変化等について検討した結果以下の結論が得られた。

- 1) PFBC 灰を混入したコンクリートの強度特性は、早期材齢による強度確保が必要となる PC 桁への適用が可能である。長期強度においても通常コンクリートと同等以上の強度確保が可能である。
- 2) PFBC 灰を混入したコンクリートの設計用値は、通常桁の設計によるものを使用することが可能である。
- 3) ポストテンション方式の T 型セグメントの暑中打ち込みを可能とするワーカビリティを有する

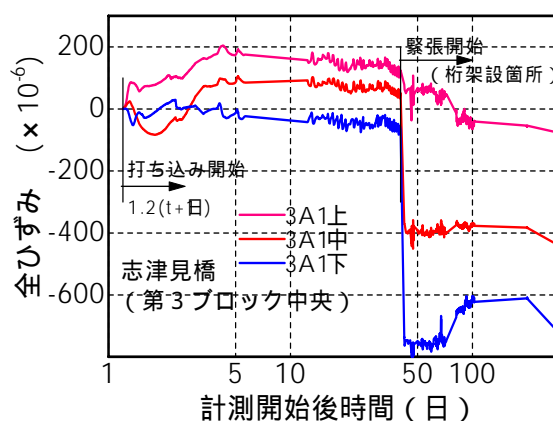


図 2-5 PC 桁コンクリートの全ひずみ経時変化 (支間中央)

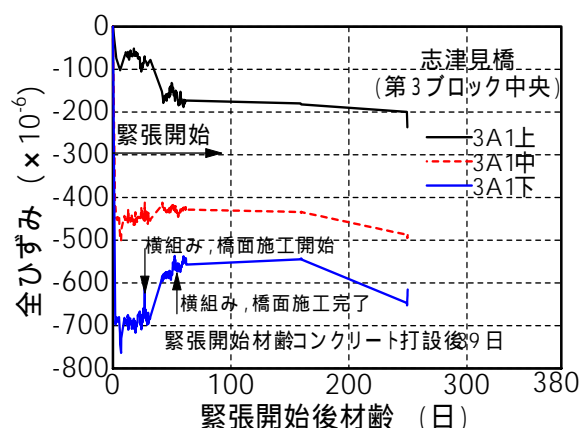


図 2-6 緊張開始後の PC 桁コンクリートの全ひずみの経時変化 (支間中央)

PFBC 灰混入コンクリートの製造は、適切に配合設計することにより可能である。また、このコンクリートを散水養生することにより、プレストレス導入時および材齢 28 日における所要の圧縮強度を満足できる。

- 4) PC 桁支間中央のプレストレス導入直後の応力度は、実測値は計算値より若干大きいですが、所要の導入量を満足するものであった。
- 5) 小川尻橋において 20t トラック 2 台により、4 種類の載荷ケースを設定して荷重応答を調べた結果、断面力、ひずみ等の実測値は何れも計算値と比べ同等以下で、良好な荷重応答であることを確認した。
- 6) 小川尻橋において橋面完成後 200 日で、クリープと収縮によると考えられる 100×10^{-6} 程度の全ひずみの増加がみられた。ひずみは経時的に単調に増加しないが、導入プレストレスが 22N/mm^2 (弾性ひずみで 670×10^{-6}) 程度であることを考慮すると、ひずみ変化量はおおむね妥当で異常はみられない。これについては、今後も検討する必要がある。
- 7) 小川尻橋のようなプレキャストセグメント(ブロック)工法では、現地に搬入し架設までの期間 RC 構造となるため、初期に収縮が小さいことで、乾燥収縮によるひび割れの防止に繋がる。
- 8) PFBC 灰混入コンクリートのコストは、早強セメントの 30% を内割りで代替したプレキャスト PC 桁を対象とした場合、材料混入の比率による環境負荷の低減の可能性はある。またコストについては現段階では PFBC 灰を混入すると粘性が増することにより、混和剤や作業手間の増加となり材料比率によるコスト減には至らないが、製造作業を容易にするコンクリートを開発すれば、それに要する増加手間を削減でき、さらに縮減が可能である。

以上、PFBC 灰の活用方法を新たに見出すことにより、コスト縮減、環境負荷低減を可能とする PC 桁の実用化が可能となった。

謝辞

この研究は広島大学、国土交通省中国地方整備局、中国電力株式会社、社団法人プレキャスト・コンクリート建設業協会中国支部の産官学 4 者による研究をもとに実用化されたものである。また、この成果は平成 15 年に行った「産業廃棄物有効活用による PC 桁研究委員会」の成果も含まれており、委員会関係各位に深く感謝の意を表すと共に、本研究に対し社団法人中国建設弘済会から助成を頂きましたことに心からお礼を申し上げます。