

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-238380

(P2007-238380A)

(43) 公開日 平成19年9月20日(2007.9.20)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
C O 4 B 28/02 (2006.01)	C O 4 B 28/02 Z A B	2 D O 5 9
C O 4 B 18/08 (2006.01)	C O 4 B 18/08 Z	4 G O 1 2
C O 4 B 18/10 (2006.01)	C O 4 B 18/10 A	4 G 1 1 2
E O 1 D 1/00 (2006.01)	E O 1 D 1/00 D	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2006-64211 (P2006-64211)
 (22) 出願日 平成18年3月9日(2006.3.9)

特許法第30条第1項適用申請有り

(71) 出願人 000211307
 中国電力株式会社
 広島県広島市中区小町4番33号
 (71) 出願人 504136568
 国立大学法人広島大学
 広島県東広島市鏡山1丁目3番2号
 (71) 出願人 393029125
 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会
 東京都新宿区津久戸町4番6号
 (74) 代理人 110000176
 一色国際特許業務法人
 (72) 発明者 中下 明文
 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力株式会社内

最終頁に続く

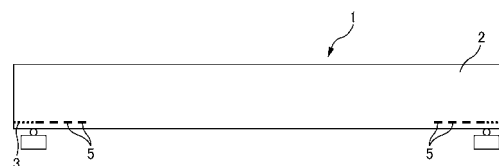
(54) 【発明の名称】 プレストレストコンクリート製品及びコンクリート構造物

(57) 【要約】

【課題】 混和材として火力発電所から発生するPFBC灰を混入させたコンクリートを用いてプレストレストコンクリート桁を製造する。

【解決手段】 水、セメント、細骨材、粗骨材、及び混和材を配合してなるコンクリート2から製造されるプレストレストコンクリート桁1であって、混和材に、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生するPFBC灰を用いる。PFBC灰は、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 、 SO_3 を含む。曲げ特性及びひび割れ特性が通常のプレストレストコンクリート桁以上の性能が得られ、定着性能が通常のプレストレストコンクリート桁と同等の性能が得られる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水、セメント、細骨材、粗骨材、及び混和材を配合してなるコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品であって、前記混和材に、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生する P F B C 灰を用いたことを特徴とするプレストレストコンクリート製品。

【請求項 2】

前記コンクリートは水結合材比；20～40%、セメントに対する P F B C 灰の置換率；10～50%であることを特徴とする請求項 1 に記載のプレストレストコンクリート製品。

10

【請求項 3】

前記 P F B C 灰は、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 Na_2O 、 K_2O を含み、 CaO の含有率が10～30重量%、 SO_3 の含有率が2～7重量%であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のプレストレストコンクリート製品。

【請求項 4】

前記 P F B C 灰は、湿分；1%以下、強熱減量；6%以下、密度；1.95%以上、比表面積； 3500 cm^2 以上、フロー値；80%以上、活性度指数；75%以上（材齢28日）、活性度指数；85%以上（材齢91日）、 SiO_2 ；40%以上の条件を満たすものであることを特徴とする請求項 1 から 3 の何れかに記載のプレストレストコンクリート製品。

20

【請求項 5】

水、セメント、細骨材、粗骨材、及び混和材を配合してなるコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品を備えてなるコンクリート構造物であって、前記混和材に、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生する P F B C 灰を用いたコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品を備えてなることを特徴とするコンクリート構造物。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、プレストレストコンクリート製品及びコンクリート構造物に関し、特に、混和材として火力発電所から発生する石炭灰を混和させたコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品及びそのプレストレストコンクリート製品を備えたコンクリート構造物に関する。

【背景技術】

【0002】

石炭を燃料とする火力発電所において副産物として発生する石炭灰（フライアッシュ）は、JIS規格にも規定されているように、コンクリートの混和材として使用することにより、コンクリートの耐久性を高める、ひび割れを防止できる、長期的な強度を増進させる、アルカリ骨材反応を抑制する等の効果が得られるため、各種のコンクリート製品に使用されている。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、火力発電所において得られる副産物として発生する石炭灰のすべてが混和材として使用できるわけではなく、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として大量に発生する石炭灰（P F B C（Pressurized Fluidized Bed Combustion）灰、以下、「P F B C 灰」という。）は、産業廃棄物として処分されているのが現状であり、再資源化を可能とする技術の開発が地域社会から強く要望されている。

50

【 0 0 0 4 】

本発明は、上記のような従来の問題に鑑みなされたものであって、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として大量に発生する P F B C 灰を再資源として利用することにより、産業廃棄物の産出量を少しでも減らし、これにより地域社会の環境保護等に貢献することを可能とするプレストレストコンクリート製品及びそのプレストレストコンクリート製品を備えたコンクリート構造物を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

上記のような課題を解決するために、本発明は、以下のような手段を作用している。

すなわち、請求項 1 に係る発明は、水、セメント、細骨材、粗骨材、及び混和材を配合してなるコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品であって、前記混和材に、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生する P F B C 灰を用いたことを特徴とする。 10

【 0 0 0 6 】

また、請求項 2 に係る発明は、請求項 1 に記載のプレストレストコンクリート製品であって、前記コンクリートは、水結合材比；20～40%、セメントに対する P F B C 灰の置換率；10～50%であることを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

さらに、請求項 3 に係る発明は、請求項 1 又は 2 に記載のプレストレストコンクリート製品であって、前記 P F B C 灰は、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 Na_2O 、 K_2O を含み、 CaO の含有率が 10～30 重量%、 SO_3 の含有率が 2～7%であることを特徴とする。 20

【 0 0 0 8 】

さらに、請求項 4 に係る発明は、請求項 1 から 3 の何れかに記載のプレストレストコンクリート製品であって、前記 P F B C 灰は、湿分；1%以下、強熱減量；6%以下、密度；1.95%以上、比表面積；3500 cm^2 以上、フロー値；80%以上、活性度指数；75%以上（材齢 28 日）、活性度指数；85%以上（材齢 91 日）、 SiO_2 ；40%以上の条件を満たすものであることを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

さらに、請求項 5 に係る発明は、水、セメント、細骨材、粗骨材、及び混和材を配合してなるコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品を備えてなるコンクリート構造物であって、前記混和材に、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生する P F B C 灰を用いたコンクリートから製造されるプレストレストコンクリート製品を備えてなることを特徴とする。 30

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

以上、説明したように、本発明によるプレストレストコンクリート製品及びコンクリート構造物によれば、コンクリートの混和材として加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生する P F B C 灰を使用することができるので、産業廃棄物の産出量の減少に貢献でき、地域社会の環境保護等に貢献することができる。 40

また、P F B C 灰を混和材として使用したコンクリートからなるプレストレストコンクリート製品及びそのプレストレストコンクリート製品を備えたコンクリート構造物は、従来のコンクリートからなるプレストレストコンクリート製品及びそのプレストレストコンクリート製品を備えたコンクリート構造物と同程度の性能若しくはそれ以上の性能が期待できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 1 】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

図 1～図 2 には、本発明によるプレストレストコンクリート製品のうち、プレストレストコンクリート桁の一実施の形態が示されていて、図 1 はプレストレストコンクリート桁 50

の全体を示す正面図、図 2 は図 1 の側面図である。

【0012】

すなわち、この実施の形態に示すプレストレストコンクリート桁 1 は、中空断面の角柱状をなすものであって、角柱状のコンクリート 2 の内部に複数本の P C 鋼材 3 が軸線方向に沿って埋設されている。P C 鋼材 3 としては、例えば、P C 鋼より線 (S W P R 7 B N) が挙げられるが、これに限定することなく、P C 鋼棒等であってもよい。

【0013】

コンクリート 2 は、水、セメント、細骨材、粗骨材、混和材、混和剤を所定の配合比で配合したものであって、混和材として、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から副産物として発生する石炭灰のうちの P F B C 灰 (P r e s s u r i z e d F l u i d i z e d B e d C o m b u s t i o n) 灰、以下、「P F B C 灰」という。) を使用している。

10

【0014】

コンクリート 2 の配合は、単位量 (kg / mm^3) で、水 ; 170、セメント ; 350、細骨材 ; 643、粗骨材 ; 994、P F B C 灰 ; 1500 であり、混和剤として、減水剤及び A E 剤を所定量添加している。混和剤は、単位重量 (kg / mm^3) で、減水剤 ; 4.25、A E 剤 ; 1.5 である。

【0015】

コンクリート 2 の配合は、水セメント比 (W / B) ; 32%、セメントに対する P F B C 灰の置換率 ; 30%、細骨材率 (s / a) ; 42% としている。

【0016】

P F B C 灰の組成は SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 Na_2O 、 K_2O 等であり、石灰石微粉末の混合及び硫黄酸化物を脱硫処理するとき生成する石膏の影響により、主成分である CaO 及び SO_3 が J I S 規格で規定されている通常のフライアッシュよりも多く含まれている。

20

【0017】

この実施の形態においては、 SiO_2 ; 42.4%、 Al_2O_3 ; 12.66%、 Fe_2O_3 ; 3.96%、 CaO ; 24.1%、 MgO ; 1.21%、 SO_3 ; 5.71%、 Na_2O ; 0.49%、 K_2O ; 0.68% のものを使用している。

【0018】

流動床方式の燃焼では、燃焼温度が約 860 と低いため、P F B C 灰中の CaO は SiO_2 及び Al_2O_3 等と反応せず、その大部分 (約 18%) が遊離石灰 (f - CaO) として存在している。この CaO 及び SO_3 は、水との反応により水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及びエトリンガイトを生成するため、P F B C 灰は自硬性を有していると考えられる。

30

【0019】

そして、上記のような配合のコンクリート 2 を用い、公知の製造方法によりプレストレストコンクリート桁 1 を製造する。

【0020】

この場合、コンクリート 2 として、セメント ; 早強ポルトランドセメント (密度 3.14、比表面積 $3380 \text{ cm}^2 / \text{g}$)、P F B C 灰 ; 混合灰 (密度 2.61、比表面積 $4580 \text{ cm}^2 / \text{g}$)、細骨材 ; 川砂 (表乾密度 2.60、吸水率 1.78%、粗粒率 2.90)、粗骨材 ; 碎石 (表乾密度 2.62、吸水率 0.88%、粗粒率 6.81、最大寸法 20 mm)、減水剤 ; ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体、A E 剤 ; 高アルキルカルボン酸系イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤、を用いる。

40

【0021】

また、製造する上での P F B C 灰の管理条件は、湿分 ; 1% 以下、強熱減量 ; 6% 以下、密度 ; 1.95% 以上、比表面積 ; 3500 cm^2 以上、フロー値 ; 80% 以上、活性度指数 ; 75% 以上 (材齢 28 日)、活性度指数 ; 85% 以上 (材齢 91 日)、 SiO_2 ; 40% 以上とする。

【0022】

50

さらに、養生方法としては、コンクリート 2 の打ち込み後、材齢約 0.25 日まで昇温させ、材齢約 0.4 日まで高温湿潤養生（50℃、R.H.；100%）とし、材齢約 1 日までの間を自然冷却とし、その後気中暴露養生とする。

【0023】

そして、JIS 等の試験規格に準拠して上記のような製造方法によって製造した P F B C 灰を混和したコンクリートによるプレストレストコンクリート桁（以下、P F B C 灰混入桁という。）に対して、桁製作に使用したコンクリートの基礎物性に関する試験（圧縮強度、収縮、クリープ）を行うとともに、静的曲げ及びせん断載荷試験を実施し、通常のプレストレストコンクリート桁（P F B C 灰を混和材として使用していないプレストレストコンクリート桁で、以下、通常桁という。）と比較した。ここで、曲げ供試体およびせん断供試体として、それぞれ、桁長； $L = 16.600\text{ m}$ 、 9.500 m 、桁高； $H = 0.600\text{ m}$ のものを使用した。

10

【0024】

（1）基礎物性

1）強度発現性

図 3 に、実験実施場所中に気中暴露したコンクリート供試体の圧縮強度の経時変化を示す。図 3 から、P F B C 灰混入コンクリート（以下、P 灰コンクリートという。）の圧縮強度は、プレストレス導入時の材齢 1 日における所要の強度を満足するとともに、材齢 28 日以降の強度が通常コンクリートの強度を大きく上回り、高い長期強度発現性を示している。しかし、実験室で実施されたほぼ同一条件で水結合材比 30%の結果ではそのような大きな差は確認されず、ほぼ同等の強度発現となっていることが分かる。

20

【0025】

2）収縮特性

図 4 に、コンクリート打ち込み直後からの無拘束供試体の全収縮ひずみ（自己収縮ひずみ + 乾燥収縮ひずみ）を示す。気中暴露による乾燥開始材齢は 2.5 日である。材齢 600 日における P 灰コンクリートの全収縮ひずみ 110×10^{-6} に対し、通常コンクリートの全収縮ひずみは 310×10^{-6} となっており、P 灰コンクリートの低収縮性を示している。これは材齢 2.5 日以降の乾燥後収縮ひずみに差がないことから、P F B C 灰の化学成分に起因する膨張性水和生成物により自己収縮ひずみが低減されたことを示している。

30

【0026】

3）クリープ特性

図 5 及び図 6 に、載荷直後からのクリープひずみとクリープ係数の経時変化を示す。P 灰コンクリートのクリープひずみは、通常コンクリートに比べて、載荷後、最大で 40×10^{-6} 程度の差が生じているが、材齢 600 日では、ほぼ同等になっている。一方、クリープ係数についても、材齢 300 日以降、通常コンクリートが 1.0 程度、P 灰コンクリートが 1.3 程度で推移しており、P 灰コンクリートが若干大きくなっている。しかし、若材齢で載荷する場合のクリープ係数（設計値）が 2.4 ~ 2.7 の範囲であること、また、土木学会式による値と同程度であることを考えると、実用上、問題ない範囲と言える。

40

【0027】

4）P C 鋼材と同位置のコンクリートひずみ減少量（導入プレストレスの損失量）

図 7 に、プレストレスが導入された直後からの収縮およびクリープによる桁下縁の P C 鋼材と同位置のコンクリートひずみ減少量の経時変化を示す。材齢 600 日時点における P 灰コンクリートのひずみ減少量は、普通コンクリートに比べて、約 25% 強小さく、その差が徐々に広がる傾向にあり、P 灰コンクリートは導入プレストレスの応力損失が小さいことが確認された。

【0028】

（2）曲げ性能

1）載荷試験時のコンクリート強度

50

表 1 に静的載荷試験供試体の載荷試験時の強度発現結果を示す。試験材齢が若干、異なるが圧縮強度、引張強度および弾性係数のいずれも通常桁のコンクリートに比べ、P F B C 灰混入桁のコンクリートの方が大きいことがわかる。

【表 1】

桁の曲げ試験時のコンクリートの特性

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (kN/mm ²)
PFBC 灰混入桁	83.1	40.4	4.34
通常桁	68.0	38.4	3.92

10

※曲げ載荷試験材齢 通常桁・・・44日, PFBC灰混入桁・・・材齢 49日

【 0 0 2 9 】

2) 曲げ変形性能と復元力特性

図 8 に、P C 鋼材が降伏する前の弾性域における荷重と変位の関係を示す。図中の計算値は、全断面有効とし、P C 桁と同様の現場養生した供試体から得られたヤング係数 (表 1 参照) を用いて求めた値である。たわみは、ひび割れ発生前後に関らず、無置換の通常桁の方が大きい。この理由として、P F B C 灰を置換したコンクリートに比べ無置換コンクリートのヤング係数が 5 % 程度小さいことや、引張強度が 1 0 % 程度小さいことによつてひび割れ発生荷重も小さいことが考えられる。このように P F B C 灰を置換することにより、使用時の変形性状は、ひび割れが生じた場合であっても、無置換に比べ、同等以上の性能を有しているといえる。

20

図 9 に、P F B C 灰混入桁と通常桁の曲げ破壊に至るまでの荷重とたわみの関係を比較して示す。図に示されたたわみは終局時までのもので、これ以降は急激に破壊したため、計測はできなかった。これらの図によれば、P F B C 灰混入桁の終局たわみは図示されているとおり通常桁より大きく、また復元力も通常桁と同等の履歴を示すことがわかる。以上のことから、P F B C 灰の混和が P C 桁の変形挙動に及ぼす影響はほとんどなく、通常桁と同等に扱うことが可能であることがわかる。

30

図 1 0 に、支間中央の桁上縁における荷重-ひずみ関係を示す。この図から、P F B C 灰混入桁における終局時のひずみは 3500×10^{-6} を超え、無置換桁と同等以上で、土木学会コンクリート標準示方書等の設計法も適用できることが確認できる。

【 0 0 3 0 】

3) 曲げひび割れ発生荷重

P F B C 灰混入桁と通常桁の曲げひび割れ発生荷重を比較して表 2 に示す。表中には図 8 の荷重-たわみ関係、桁下縁ひずみおよび目視により検出したひび割れ発生荷重とその計算値を示している。これらの結果から、P F B C 灰混入桁のひび割れ発生荷重は 1 7 0 k N 、通常桁のそれは 1 4 0 k N といえ、前者は後者に比べおよそ 2 0 % 大きい。これは表 1 に示すように、P F B C 灰混入コンクリートの引張強度が通常コンクリートより 1 0 % 程度大きいことが要因として考えられる。表 1 に示した引張強度を用いた計算も若干ではあるが P F B C 灰混入桁のほうが大きく、このことから通常桁に比べ同等以上のひび割れ発生に対する抵抗性を有しているといえる。

40

【表 2】

PFBC灰混入桁と通常桁の 曲げひび割れ発生荷重

供試体名	曲げひび割れ発生荷重		
	実験値 P_{cr} (kN)		計算値 P_{crd} (kN)
	コンクリートひずみ変曲点	目視	
PFBC 灰混入桁(A)	210	170	163
PFBC 灰混入桁(B)	175	168	167
通常桁	140	160	159

10

【 0 0 3 1 】

4) ひび割れ間隔と幅

ひび割れ間隔および幅の測定は、図 1 1 に拡大して示すように、等曲げ区間内のそれを対象とし、幅については支間中央域に取り付けたパイ型変位計により測定した。表 3 は、最下段鋼材位置におけるコンクリート応力度が 0 の状態から鋼材応力度の増加量が 200 N/mm^2 となった時の同位置におけるひび割れ幅および、ひび割れ間隔について、PFBC 灰混入桁と通常桁を比較して示したものである。ひび割れ間隔および幅の計算値はコンクリート標準示方書のひび割れ算定式により求めた。この算定式における鋼材形状がひび割れ幅に影響する係数は PC 鋼材の $K_1 = 1.3$ とし、コンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響を考慮する係数は高強度コンクリートの $\epsilon_{csd} = 100 \times 10^{-6}$ とした。また、コンクリート強度の影響はここでは間隔に含めている。

20

表 3 の結果より、PFBC 灰混入桁の平均および最大ひび割れ間隔は、通常桁に比べ、それぞれ 17%、17~35% 大きい (図 1 1 参照)。これに対応して、平均ひび割れ幅の場合、PFBC 灰混入桁の方が 4~26% 大きい。しかし、最大ひび割れ幅は、最大ひび割れ間隔が大きいにも拘らず、ほぼ等しい。ひび割れ幅は元来ばらつきが大きい性質を持っており、この点を考慮すると PFBC 灰混入桁と通常桁で大きな差はないといえよう。最大ひび割れ幅の実測値と計算値との比較の点から見れば、両者の比は $\pm 10\%$ 以内に十分入っており、PFBC 灰混入桁の最大ひび割れ幅は通常桁に対して経験的に定式化される方法で予測可能であって、このことから PFBC 灰混入桁のひび割れ特性は通常桁と変わることはないといえる。

30

【表 3】

PFBC灰混入桁と通常桁のひび割れ間隔と幅の比較

供試体名	ひび割れ間隔(mm)				ひび割れ幅(mm)			
	平均値	最大値			平均値	最大値		
	実測値	①実測値	②計算値	①/②	実測値	①実測値	②計算値	①/②
PFBC灰混入桁(A)	250	310	244	1.38	0.24	0.28	0.29	0.95
PFBC灰混入桁(B)	250	270	244	1.38	0.29	0.31	0.29	1.07
通常桁	214	230	251	0.90	0.23	0.32	0.30	1.07

10

【 0 0 3 2 】

5) P C 桁の曲げ耐力

P F B C 灰混入桁の曲げ耐力の実測値および計算値を通常桁のそれらと比較して表 4 に示す。この表にはひび割れ発生モーメントおよび降伏曲げモーメントの結果も合わせて示している。ここで、ひび割れ発生モーメントの実測値は表 2 の結果に基づいて、P F B C 灰混入桁の発生荷重を 1 7 0 k N、通常桁のそれを 1 4 0 k N としたときの曲げモーメントである。降伏曲げモーメントの実測値は、ゲージのひずみが急増し始めたときの荷重を用いて求め、計算値は除荷時の残留ひずみが 0 . 2 % となるときの応力(以下、降伏応力)を用いて算定している。終局曲げモーメントはこの降伏応力を用い、また圧縮部コンクリートの応力分布を土木学会の方法に基づいて矩形ブロックとして算定している。表 4 の結果から、ひび割れ発生時・降伏時・終局時の部材耐力は何れも P F B C 灰混入桁が通常桁と同等以上である。また、これらに対する実測値は計算値より大きい。

20

表 5 に示すたわみ実測値の結果の比較では、降伏時の場合、P F B C 灰混入桁は通常より小さくこの範囲までは剛性が大きいことが分かる。終局時のたわみ、じん性率のいずれも P F B C 灰混入桁が通常桁より大きく、通常桁と同等以上の変形性能を有しているといえる。これらのことから、曲げに対する設計については現行のコンクリート標準示方書や道路橋示方書等の適用が可能であると考えられる。

30

【表 4】

曲げ試験結果(モーメント)

供試体名	ひび割れ発生モーメント Mcr (kN・m)		計算値/ 実験値 ②/①	降伏モーメント My (kN・m)		計算値/ 実験値 ④/③	終局モーメント Mu (kN・m)		計算値/ 実験値 ⑥/⑤
	①実験値	②計算値		③実験値	④計算値		⑤実験値	⑥計算値	
PFBC灰混入桁(A)	616	591	1.09	1305	1213	1.04	1472	1398	1.05
PFBC灰混入桁(B)	616	604	1.05	1378	1212	1.03	1429	1398	1.02
通常桁	508	576	0.92	1341	1194	1.01	1375	1335	1.03

40

【表 5】

曲げ試験結果(たわみ)

供試体名	実 測 値		
	降伏時たわみ δ_y (mm)	終局時たわみ δ_u (mm)	δ_u / δ_y
PFBC灰混入桁(A)	147	390	2.65
PFBC灰混入桁(B)	159	390	2.45
通常桁	143	329	2.30

10

【0033】

(3) セン断性能

1) セン断変形性能

図12にセン断力が卓越する側の载荷点位置での荷重とたわみの関係を示す。この図に示すように、PFBC灰混入桁と通常桁のたわみに明確な差は認められない。目視により载荷荷重 $P = 700 \text{ kN}$ (セン断力 $S = 450 \text{ kN}$) 付近で载荷点間付近に曲げひび割れが発生したが、セン断力が卓越する 1.600 m の区間に斜め引張ひび割れが発生するまで荷重とたわみの関係は直線関係を示し、曲げひび割れによる剛性低下はほとんどなかった。これより曲げひび割れは構造的に影響のない微細なものであったと考えられる。しかし、斜め引張ひび割れ発生後は荷重に対するたわみの増加の割合は通常桁およびPFBC灰混入桁ともに大きい。

20

【0034】

2) ひび割れ分布性状と破壊形態

図13はPFBC灰混入桁(図13(a))のひび割れ分布性状と破壊形態について、通常桁(図13(b))のそれと比較して示したものである。図に示すように、ひび割れ分布性状と破壊形態はともに両者で明確な差は認められない。すなわち、両桁とも、セン断ひび割れは、载荷点位置とそれから有効高さ程度離れた位置との間に生じた曲げひび割れから発達したセン断ひび割れと、腹部から支点方向に生じたセン断ひび割れに大別でき、前者のひび割れが载荷点下に潜り込んでセン断圧縮破壊している。

30

【0035】

3) 斜めひび割れ発生強度

表6にPFBC灰混入桁の斜めひび割れ発生強度の実測値と計算値について通常桁のそれらと比較した結果を示す。同表に示されているように、PFBC灰混入桁の斜め引張ひび割れ発生強度 V_c は通常桁とほぼ同等である。実験値と計算値(材料、部材係数はすべて1としている)を比較すると、実測値は、PFBC灰混入桁、通常桁いずれの場合も土木学会の式によるセン断強度より3.3倍大きく、 a/d による影響を考慮した式による計算値より2.8倍大きい。PC桁に対し上記算定式は過大評価することは良く知られているが、軸力に伴い中立軸が深くなることやひび割れ面のかみ合い効果が高くなることによるコンクリートのセン断抵抗力が過小評価されているためと考えられる。

40

一方、道路橋示方書による斜引張破壊に対する耐力を斜めひび割れ発生時のセン断力とすれば、それに対応するセン断応力度 $= V_c / (k b d)$ (b : 腹部厚、 k : プレストレスの影響で $k = 2$ とする) は、PFBC灰混入桁および通常桁ともにほぼ 5.2 N/mm^2 となっており、道路橋示方書に規定されている許容斜引張応力度 1.3 N/mm^2 と比べても2倍程度の値を示している。

50

【表 6】

斜め引張りひび割れ発生強度

	ひび割れ発生せん断力 Vc (kN)			式-(1)適用		式-(2)適用		ひび割れ発生時の せん断応力度 τ_c (N/mm ²)
	正面	裏面	平均値	Vcd (kN)	実測値	Vcd (kN)	実測値	
					計算値		計算値	
通常桁	650(1010)	650(1010)	650(1010)	197	3.30	238	2.74	5.20
PFBC灰混入桁	705(1095)	605(940)	655(1017)	197	3.32	238	2.76	5.24

注:()内数値は載荷荷重を示す。また、せん断力と異なるのは、支間に対して左右対称載荷でないためである。
せん断力は支点から載荷支点までの値を示す。せん断力 S(kN) と載荷荷重 P (kN) の関係は、 $S = P \times 0.644$ (kN)

10

【 0 0 3 6 】

4) P C 桁のせん断耐力

表 7 に、せん断耐力の実測値と土木学会標準示方書による計算値（材料、部材係数はすべて 1 としている）について、P F B C 灰混入桁と通常桁を比較した結果を示す。表中のせん断補強筋を用いない部材のせん断耐力は通常、斜めひび割れ発生強度と等しいとしている。P F B C 灰混入桁の耐力は通常桁のそれとほぼ同様である。また、実測値は計算値の 2 . 3 倍強で、この設計計算値を用いれば十分安全な設計が可能となることがわかる。

【表 7】

せん断耐力の実測値と計算値の比較

供試体名	実測値(kN)	計算値(kN)			実験値 Vu/ 計算値 Vu
	終局せん断 耐力 Vu	せん断補強材を 用いない部材の 設計せん断耐力	せん断補強材に より受けもたれる 設計せん断耐力	設計終局 せん断耐力	
		Vcd	Vsd	Vu (=Vcd+Vsd)	
PFBC灰混入桁 (A)	826 (1282)	237	116	353	2.34
PFBC灰混入桁 (B)	857 (1331)	237	116	353	2.43
通常桁	850 (1321)	237	116	353	2.41

20

※()は終局せん断力発生時の載荷荷重

30

【 0 0 3 7 】

併せて、上記のような製造方法によって製造したプレストレストコンクリート桁 1 に対して、定着長確認試験を行い、通常のプレストレストコンクリート桁（P F B C 灰を混和材として使用していないプレストレストコンクリート桁）と比較した。ここで、供試体として、桁長；L = 1 6 . 6 0 0 m、桁高；H = 0 . 6 0 0 m のものを使用し、供試体の両側面下端部の端から 4 0 0 m m までの範囲内に 1 0 0 m m ピッチで複数の歪ゲージ 5 を貼着し、その内側の範囲内に 2 0 0 m m ピッチで複数の歪ゲージ 5 を貼着した（図 1 参照）。

40

【 0 0 3 8 】

1) 定着長の確認

プレテンション方式による P C 鋼材の定着性能の確認は、プレストレス導入前と直後に、P C 鋼材最下段位置のコンクリート表面歪を、プレストレストコンクリート桁の P C 鋼材の固定端と緊張端の両側で測定することにより確認した（図 1 4 参照）。

【 0 0 3 9 】

図 1 5 及び図 1 6 に示すように、通常のプレストレストコンクリート桁は、桁端から 6 0 0 m m ~ 8 0 0 m m の範囲が理論値より高くなっているのに対し、本願のプレストレス

50

トコンクリート桁 1 は、徐々に理論値に近づく結果が得られた。定着による歪分布は、道路橋示方書の定着長さ 65 ($L_a = 1.5 \times 65 = 98.8 \text{ mm}$) 付近で理論値に達し、規準を満足する結果となった。

【 0 0 4 0 】

上記のように、本発明によるプレストレストコンクリート桁にあっては、曲げ特性及びひび割れ性状並びにせん断特性が通常のプレストレストコンクリート桁と同等以上の性能を示すことが分かった。また、定着性能についても、通常のプレストレストコンクリート桁と同等の性能を得ることが分かった。

【 0 0 4 1 】

従って、加圧流動床燃焼方式の火力発電所から発生する P F B C 灰を有効に利用することができるので、産業廃棄物として廃棄処分する必要がなくなり、地域社会の環境保護等に貢献することができる。

10

【 0 0 4 2 】

なお、前記の説明においては、混和材に P F B C 灰を用いたコンクリートによってプレストレストコンクリート桁を製造したが、他のコンクリート製品を混和材に P F B C 灰を用いたコンクリートによって製造してもよいものであり、その場合にも同様の作用効果を奏することが期待できる。さらに、前述したプレストレストコンクリート桁を備えたコンクリート構造物を構築してもよいものであり、その場合にも同様の作用効果を奏することが期待できる。

【 図面の簡単な説明 】

20

【 0 0 4 3 】

【 図 1 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁の一実施の形態を示した正面図である。

【 図 2 】 図 1 の側面図である。

【 図 3 】 気中暴露したコンクリート供試体における圧縮強度の経時変化を示す説明図である。

【 図 4 】 コンクリート打ち込み直後からの無拘束供試体の全収縮ひずみを示す説明図である。

【 図 5 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の載荷直後からのクリープひずみの経時変化を示す説明図である。

30

【 図 6 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の載荷直後からのクリープ係数の経時変化を示す説明図である。

【 図 7 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁のプレストレスが導入された直後からの収縮およびクリープによる P C 鋼材と同位置のコンクリートひずみ減少量の経時変化を示した説明図である。

【 図 8 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の弾性領域の支間中央における荷重 - たわみの関係を示す説明図である。

【 図 9 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の弾性領域および破壊に至る領域までの支間中央における荷重 - たわみの関係を示す説明図である。

40

【 図 1 0 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の弾性領域および破壊に至る領域までの支間中央における荷重 - ひずみの関係を示す説明図である。

【 図 1 1 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の終局直前における純曲げ区間のひび割れ分布性状を示す説明図である。

【 図 1 2 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁の弾性領域および破壊に至る領域までの支間中央の桁上縁における荷重 - たわみの関係を示す説明図である。

【 図 1 3 】 本発明によるプレストレストコンクリート桁及び通常のプレストレストコンクリート桁のひび割れ分布性状と破壊形態を示す説明図である。

50

【図 1 4】本発明によるプレストレストコンクリート桁の材齢 1 日における桁端付近における P C 鋼材定着域のコンクリート表面の歪分布を測定するひずみゲージ添付位置および計測位置名称を示す説明図である。

【図 1 5】本発明によるプレストレストコンクリート桁の材齢 1 日における桁端付近の P C 鋼材定着域のコンクリート表面の歪分布を示す説明図である。

【図 1 6】通常のプレストレストコンクリート桁の材齢 1 日における桁端付近の P C 鋼材定着域のコンクリート表面の歪分布を示す説明図である。

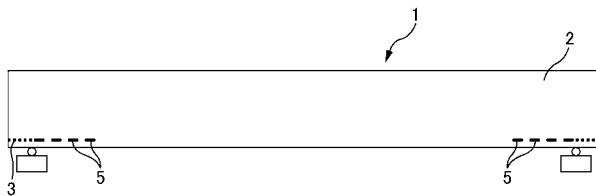
【符号の説明】

【 0 0 4 4 】

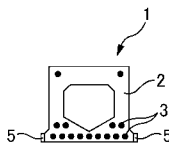
- 1 プレストレストコンクリート桁
- 2 コンクリート
- 3 P C 鋼材
- 5 歪ゲージ

10

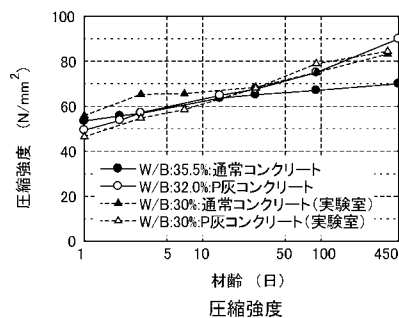
【図 1】



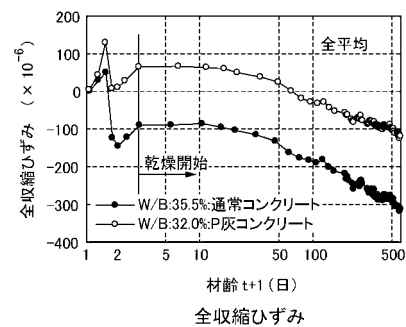
【図 2】



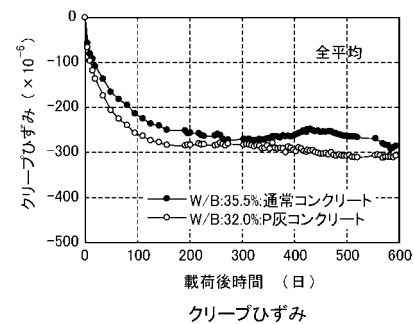
【図 3】



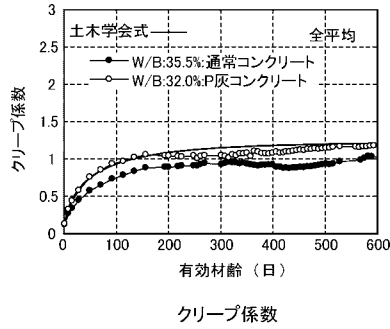
【図 4】



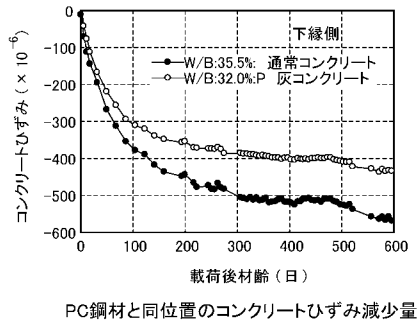
【図 5】



【図 6】

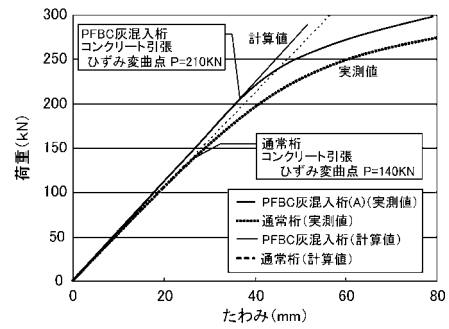


【図 7】



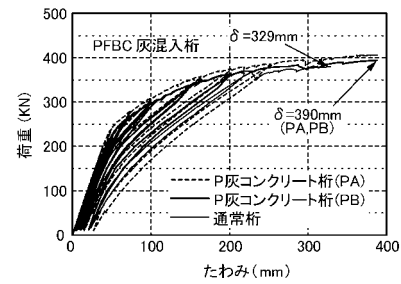
PC鋼材と同位置のコンクリートひずみ減少量

【図 8】



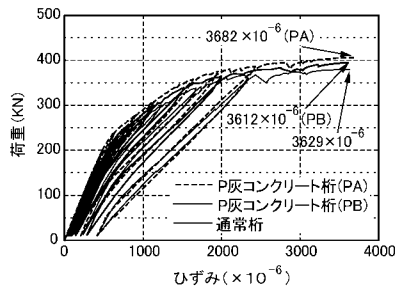
鋼材弾性域の荷重－たわみの関係

【図 9】

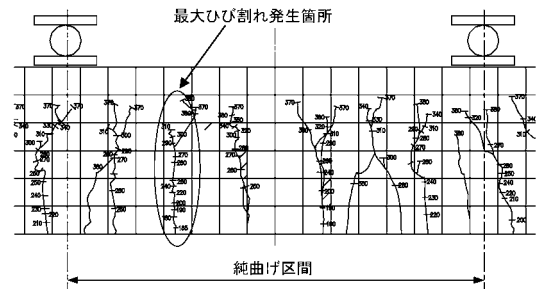


PFBC 灰混入桁と通常桁の荷重－たわみ関係の比較 (曲げ)

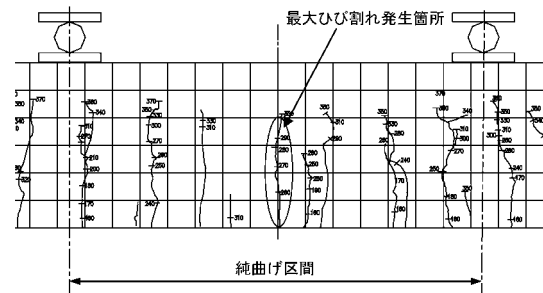
【図 10】

PFBC 灰混入桁と通常桁の荷重－
圧縮縁コンクリートひずみ関係の比較 (曲げ)

【図 11】



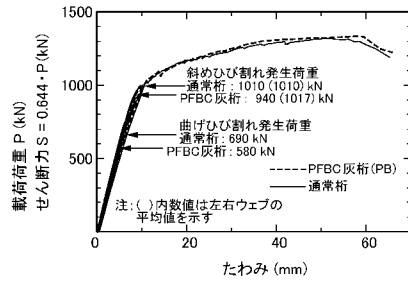
(a) PFBC 灰混入桁



(b) 通常桁

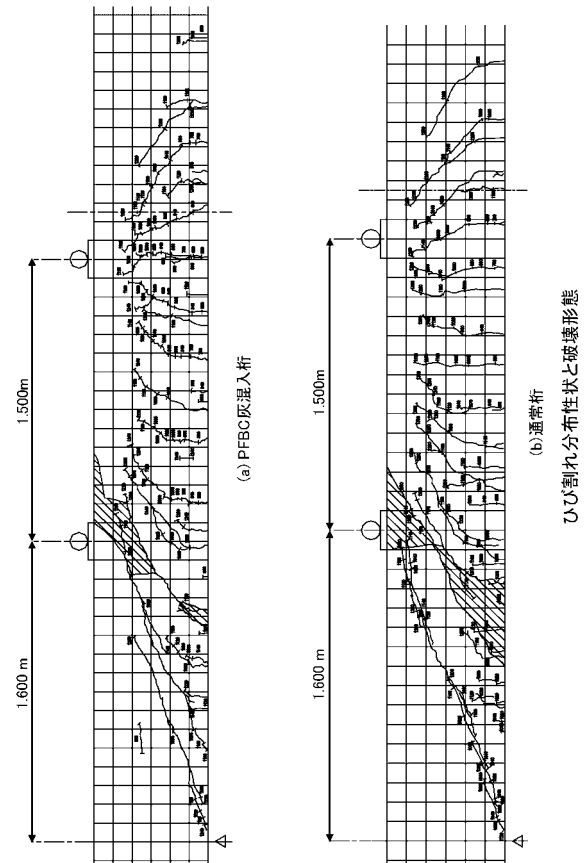
純曲げ区間のひび割れ分布性状

【図 1 2】



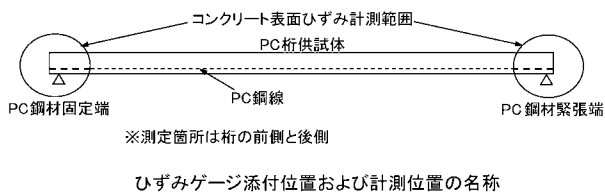
荷重とたわみの関係(せん断)

【図 1 3】

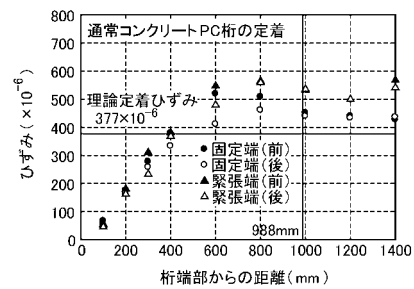


ひび割れ分布性状と破壊形態

【図 1 4】

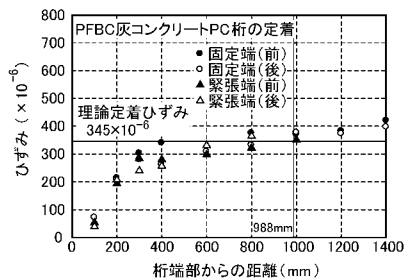


【図 1 6】



鋼材定着域におけるコンクリート表面ひずみ分布(通常コンクリートPC桁)

【図 1 5】



鋼材定着域におけるコンクリート表面ひずみ分布(PFBC 灰コンクリートPC桁)

フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 良一

広島県東広島市鏡山一丁目4番1号 国立大学法人広島大学内

(72)発明者 溝垣 道男

広島県広島市東区光町二丁目6番31号 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会内

Fターム(参考) 2D059 AA05 BB39 CC03 GG61

4G012 PA26 PA27

4G112 PA26 PA27