

フライアッシュを用いた舗装コンクリートの曲げ強度に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○山下智義
 前田道路(株) 正会員 加藤康弘
 山口大学工学部 正会員 浜田純夫
 前田道路(株) 正会員 小林良太

1. はじめに

近年，発電分野でのエネルギーの多様化が進み，石油火力発電に代わり石炭火力発電が増加している．それに伴い，副産物である石炭灰の発生量も増加している．本研究では，石炭灰の有効利用の拡大を目的に，石炭灰の約9割を占めるフライアッシュ（以下，FA と称す）をセメントに対して大量に置換した舗装用コンクリートについて検討をおこなった．施工指針によると，FA を規定率以上に大量置換した場合，普通コンクリートに比べ施工性や強度低下等の問題がある．特に舗装用コンクリートはその載荷支持機構より，曲げ強度の確保が重要である．そこで本研究では，FA を大量置換した舗装用コンクリートの曲げ強度特性について調べるとともに，モンテカルロ法を用いて解析的評価も試みた．

2. 実験方法

コンクリートの配合を表1に示す．これらの配合は，一般に用いられる舗装用コンクリート（スランプ値：2.5cm，空気量 4.5%）の要求性能に対して決定したものである．配合は，FA をセメント質量に対して置換する割合に応じて0%，30%，60%（以下，それぞれF0，F30，F60 と称す）の3種類とし，JIS 規格Ⅱ種のFAを用いた．本研究では，コンクリート供試体（10×10×40cm）に加え，粗骨材の影響を調べるために，コンクリートをウェットスクリーニングしたモルタル供試体（4×4×16cm）を作製した．全ての供試体は標準養生を施し，材齢28日および91日で曲げ強度試験をおこなった．載荷方法を図1に示す．以下，（i）～（iii）の載荷方法をそれぞれ1点載荷，2点載荷①，2点載荷②と称す．曲げスパンは供試体断面高さ d の3倍で一定とした．1点載荷では，等曲げ区間がなく，曲げ引張応力は部位により異なるため，ひび割れの発生位置は曲げ強度に大きく影響する．そこで，供試体中の最大曲げモーメントの作用位置からひび割れの発生位置までの距離を計測し，これを破壊位置とすることで，曲げ強度のばらつきの検討をおこなった．

3. 実験結果

FA を用いたコンクリートは，若材齢ではFA 置換率の増加とともに強度は低下するが，ポズラン反応による強度発現効果を有しているため，材齢28日以降の長期材齢では，普通コンクリートと同等以上の強度になる．材齢28日の曲げ強度に対する材齢91日の同強度の比を図2に示す．FA 置換率が増加するとともに強度の比も増加している．このことから，FA 量が多いほどFA のポズラン反応による強度発現効果は大きくなることがわかる．

表1 コンクリートの配合

配合	FA C+FA	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	FA	S	G
F0	0%	128	300	0	740	1,207
F30	30%	128	209	89	714	1,207
F60	60%	138	132	199	628	1,207

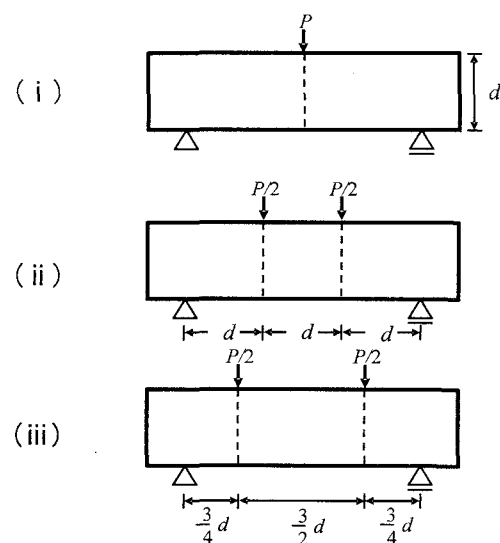


図1 曲げ強度試験の載荷方法

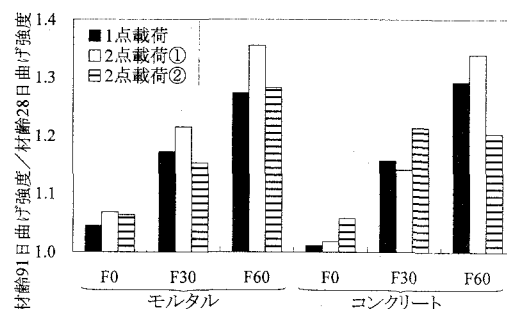


図2 曲げ強度の比較

1 点载荷における破壊位置のばらつきを変動係数で比較したものを図 3 に示す。ポズラン反応による強度発現効果がほとんどない材齢 28 日では、FA 置換率が上がるとともに変動係数は小さくなっている。曲げ破壊は供試体中の最弱部位の破壊を起点とするため、破壊位置の変動係数は供試体内部の最弱部位のばらつきに依存する。そのため、弱点部位が少ないと破壊位置はばらつき、変動係数は大きくなる。逆に弱点部位が多いと変動係数は小さくなると考えられる。このことから材齢 28 日での FA 量の増加は、供試体の弱点部位の増加となっていると考えられる。しかし、材齢 91 日では明らかな傾向がない。FA のポズラン反応による強度発現効果により弱点部位が少なくなったため、明確な差異が現れなかったものと考えられる。

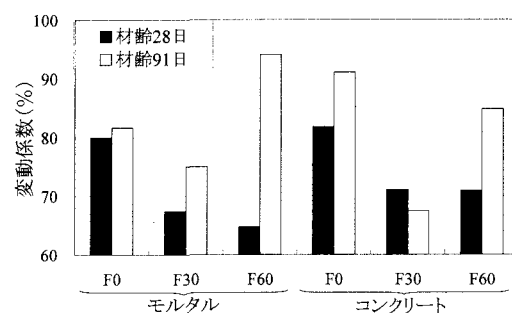


図 3 破壊位置の比較

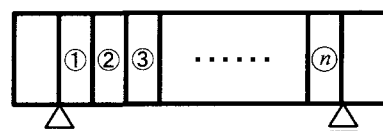


図 4 梁の直列モデル

4. 解析方法

本研究の解析では、供試体をモデル化し、1 点载荷の実験結果から求めた曲げ強度の確率分布をもとに、モンテカルロ法を用いて、解析値として 2 点载荷①および 2 点载荷②の推定曲げ強度を算出し、実験結果との比較をおこなった。ここで、モンテカルロ法とは、乱数を用いたシミュレーションを多数回おこなうことにより近似解を求める計算手法である。供試体のモデルには、供試体中の最弱部位の曲げ強度がその供試体の曲げ強度に相当するため、図 4 のような曲げスパンを n 分割した直列モデルを考えた。

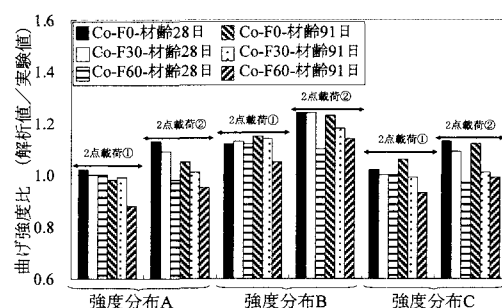


図 5 曲げ強度比による比較
(コンクリート)

直列モデルを用いた本解析では、直列モデルの分割数や各要素に用いる確率分布が重要となる。そこで、分割数は 15、24、36 分割の 3 種類を用いた。確率分布には、破壊位置から得た曲げ強度の確率分布、最大曲げモーメントの位置の曲げ応力から得た曲げ強度の確率分布、1 点载荷の解析結果から得た曲げ強度の確率分布 (以下、それぞれ強度分布 A、強度分布 B、強度分布 C と称す) の 3 種類を用いた。ここで、強度分布 A および強度分布 B は、破壊位置の影響を比較するために用いたものである。また、本解析では直列モデルの低強度要素により破壊強度が決定されるため、低強度要素の配列が解析結果に大きく影響を与える。強度分布 C は、この影響を少なくするため、あらかじめ 1 点载荷モデルに対して解析をおこない、平均曲げ強度および変動係数が 1 点载荷の実験値と同等になるように算出した確率分布である。

5. 解析結果

曲げ強度比 (解析値 / 実験値) を用いて、直列モデルの分割数および強度分布の比較をおこなった。実験値に対して最も精度の良い分割数は、2 点载荷①の場合、モルタルは 15 分割、コンクリートは 36 分割であり、2 点载荷②の場合、モルタルおよびコンクリートともに 36 分割であった。これらの分割数を用いて強度分布の比較をした一例を図 5 に示す。曲げ強度比は、ほぼ 0.8~1.2 程度で、強度分布 B に対して強度分布 A および強度分布 C の推定精度が比較的良好いことがわかる。

6. まとめ

- ① 破壊位置のばらつきは、コンクリートおよびモルタルともに、材齢 28 日では FA 置換率の増加に応じて小さくなったが、材齢 91 日では同様の傾向はみられなかった。
- ② 材齢 28 日に対する材齢 91 日の曲げ強度の比は、FA 置換率に応じて増加した。
- ③ モンテカルロ法を用いた本解析方法は、強度分布 A および強度分布 C を用いることで、曲げ強度の実験値を精度よく推定できる。