

コンクリートの時間依存挙動に与える結合材種類の影響

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 大野 直也
 前田建設工業(株) 正会員 米田 大樹
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 石田 哲也

1. はじめに

コンクリート構造物の性能向上を図るためには、たわみ進行やひび割れ発生を精度よく予測することが重要である。本研究では、東京大学コンクリート研究室が開発を進めてきた材料-構造応答連成解析システム(DuCOM-COM3)を使用し、結合材の異なる複数のコンクリート梁部材を対象に、たわみの進行について解析の精度を検証する。

2. 実験概要

本実験で使用した材料を表1に、各種コンクリートの配合を表2に、梁試験体の概要を図1に示す。いずれの配合も水結合材比40%、細骨材率45%とし、減水剤およびAE剤を用いてスランプ8±2.5cm、空気量4.5±0.5%の範囲にコントロールした。梁試験体は打設後、材齢7日まで封緘養生を行い、乾燥を開始させる。材齢8日に梁中央のたわみの計測を開始し、1枚63kgの鉄板6枚(合計3704N)を材齢21, 28, 35日の3回(1235N/回)に分けて載荷した。曲げひび割れ発生後のたわみ進行への影響を確認するため、載荷重量は計算上の曲げひび割れ発生荷重である3596Nを超えるように設定した。実験を通して試験体は実験室にて保管し、解析時に必要となる環境条件として温度・湿度の計測を

表1 使用材料

材料	種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
OPC	普通ポルトランドセメント	3.13	3320
FA	フライアッシュ	2.23	3940
BB	高炉スラグ微粉末	2.28	4430

表2 各種コンクリートの配合(kg)

配合	C	W	FA	BFS	S	G
N	413	165	0	0	716	1016
FA	351	165	62	0	707	1003
BB	248	165	0	165	711	1008
BB+FA	210	165	37	165	706	1001

行った(図2)。なお、乾燥期間は、NおよびFAのものである。

3. 結果と考察

材齢と梁中央のたわみの関係を図5に示す。実験では、OPC単体(N)よりも、BBとBB+FAのたわみが小さくなっている。一方、解析では、NよりもBBとBB+FAのたわみが大きくなり、実験と異なる傾向となった。解析のたわみ量の傾向が実験と異なる原因の一つとして、収縮やクリープ挙動を取り扱う時間依存構成則で用いているセメント硬化体の弾性係数の影響が推測される。本モデルでは、セメント硬化体の弾性係数を式(1),(2)により算出している。

$$f_{cp} = 820 \exp(-0.05 \times W/P(\%)) \times f(\psi) \quad (1)$$

$$E_{cp} = 716 \times f_{cp}^{0.785} \quad (2)$$

ここで、 f_{cp} :セメント硬化体の圧縮強度、 ψ :水和度である。本式は、OPCの実験結果を回帰して定めたものであり、水和度と水結合材比のみによってセメン

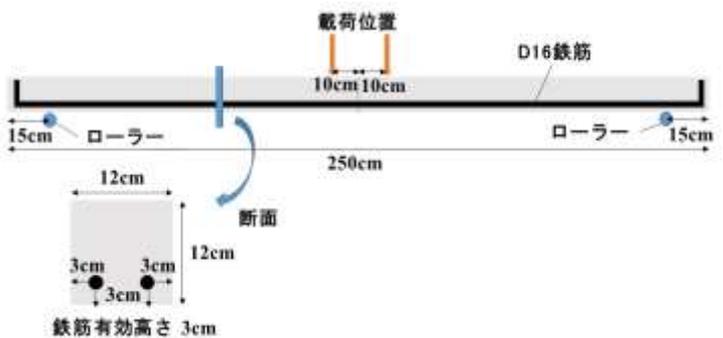


図1 梁試験体の概要

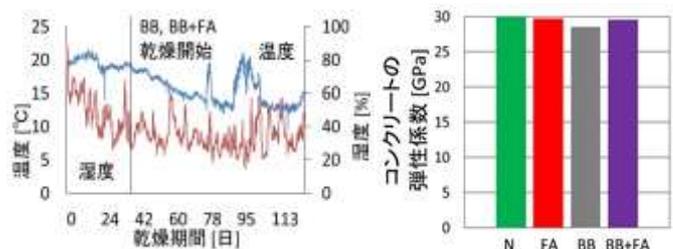


図2 温度・湿度推移

図3 実験上の弾性係数

キーワード たわみ, 混和材, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, 時間依存挙動

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 1号館 329室 TEL03-5841-6140

ト硬化体の弾性係数が決定される²⁾。そのため、混和材を用いた場合の細孔構造やセメント硬化体の性質の変化については考慮されていない。図3に示す様に、実際の実験におけるコンクリートの弾性係数に大きな違いは見られない。しかし、上式を用いたセメント硬化体の弾性係数の解析結果は、いずれの混和材を用いたケースにおいてもNより小さくなる傾向を示している(図4左)。そこで、図4右に示す様に、結合材の違いに関わらず、Nのセメント硬化体の弾性係数とほぼ同じになる様に、簡易に式(2)の係数を変化させて再解析を行った。なお、コンクリートとセメント硬化体の弾性係数を比較しているが、いずれの試験体においても同種の骨材、および同量のセメント硬化体を使用しているため、コンクリートとセメント硬化体の弾性係数の傾向の差は小さいものとして考える。各結合材の修正式は次式のようになる。

FAの修正式： $E_{cp} = 800 \times f_{cp}^{0.785}$

BBの修正式： $E_{cp} = 850 \times f_{cp}^{0.785}$

BB+FAの修正式： $E_{cp} = 930 \times f_{cp}^{0.785}$

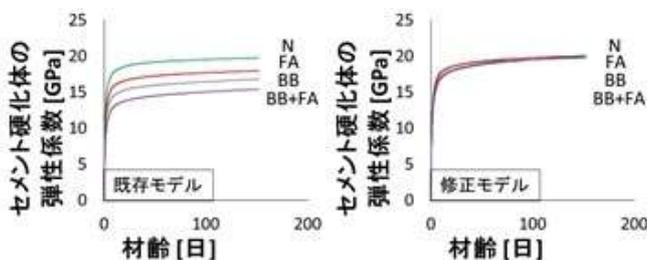


図4 解析上のセメント硬化体の弾性係数

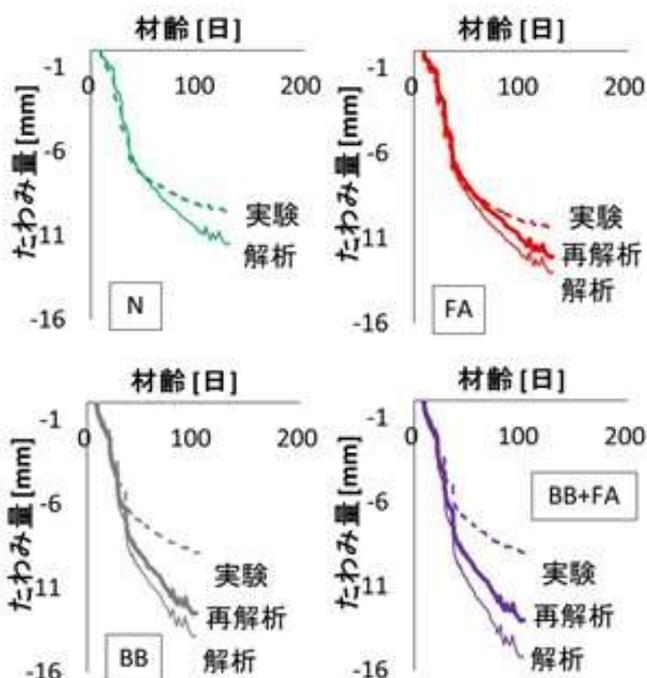


図5 材齢とたわみ量の関係

図5に合わせて示した様に、再解析結果は最初の解析結果よりも改善する傾向が見られる。ただし、材齢が進むほどたわみ量を過剰に評価する傾向がまだ見られる。これは、図2の湿度履歴で示した様に、比較的高湿度な時期に荷重を開始し、徐々に実験室の湿度が低下したことが原因と思われる。特に、20%に達するほどの低湿度域での本モデルの検証は少ないため、低湿度域でのひび割れ発生基準または時間依存構成則に改良の余地が残されていると考えられる。また、BBとBB+FAの乾燥開始時期(材齢8日)は既に30%を下回る低湿度領域にある。そのため、材齢初期から解析値は実験値よりも大きく算出され、結果としてNやFAよりも実験値から乖離した値が算出されたと考えられる。

また、図5のNのケースから、3回の荷重によるたわみ量の増加傾向までは解析によって良好に再現されているのが認められる。その後、解析値はたわみ量を過剰に算出する傾向にあるが、その要因として曲げひび割れの発生が関与していると考えられる(写真1)。

4. 結論

DuCOM-COM3による実環境下の鉄筋コンクリート部材の変形挙動追跡を目的として、実験と同じ温度・湿度履歴と荷重履歴を与えた梁部材のたわみ解析を実施し、実験との比較を行った。セメント硬化体の弾性係数について、混和材の影響を考慮することで解析精度の向上が確認された。今後、低湿度域における精度改善やひび割れによる影響についての検討を進めていく予定である。

参考文献

1. Maekawa, K., Ishida, T., Kishi, T.: MULTI-SCALE MODELLING OF STRUCTURAL CONCRETE, Taylor and Francis, 2008
 2. 浅本晋吾: セメント系複合材料のマルチスケール型時間依存構成モデルの高度化と実構造物のひび割れ評価, 東京大学博士論文, pp149-157, 2006.3



写真1 曲げひび割れの様子(丸枠内)