

コンクリートの混合モード破壊に及ぼすひずみ速度の影響に関する基礎的研究

防衛大学校 学生会員 ○中平 順也 防衛大学校 正会員 山本 佳士
防衛大学校 正会員 黒田 一郎 防衛大学校 正会員 古屋 信明

1. はじめに

近年、非線形有限要素法を始めとする様々な数値解析手法が提案され、コンクリート構造物の耐力のみならず変形性能や破壊挙動まで評価しようとする試みが多く行われている。数値解析を用いてコンクリート構造物の破壊挙動をより正確に再現しようとする場合、さまざまな複合応力下でのひび割れの発生と進展を評価することが必要である。また、衝撃荷重下においてはコンクリートのひずみ速度効果も適切に評価する必要がある。1軸引張すなわちモードⅠ破壊に関しては、高ひずみ速度下における挙動まで多くの実験データが蓄積されているが、混合モード下におけるひび割れの発生・進展とひずみ速度の影響に着目した研究は少なく各種解析手法によるその再現性の検証はあまり行われていない。本研究では、コンクリートの混合モード下におけるひび割れの進展に与えるひずみ速度効果について基礎的なデータを得るために、スパン中央およびスパン中央から支承側にずらした切欠きを有する無筋コンクリート梁に対して、静的および高速3点曲げ载荷実験を行った。さらに、コンクリートの破壊現象を比較的容易に表現できる剛体バネモデル(RBSM)を用いて解析を行い、破壊挙動を再現することを試みた。

2. 実験概要

表-1に実験で用いた、普通コンクリートの示方配合を、図-1に供試体概要および载荷条件を示す。作成した、無筋コンクリート梁供試体(幅100mm、高さ100mm、長さ400mm)には、混合モード下でのひび割れを発生させるために、コンクリートカッターを用いて、深さ30mmの切り欠きをスパン中央から40mm($\gamma = 0.267$)および80mm($\gamma = 0.533$)の位置に設けた。また、比較検討用にスパン中央に切り欠きを設けた供試体も作成した。载荷実験時の圧縮強度は、 48.4N/mm^2 であった。载荷は、サーボ制御式高速载荷装置を使用した。この装置は、任意の载荷速度(最大载荷速度4m/sec)に設定できる機能を有している。本実験では、ひずみ速度の影響を検証するために、载荷速度を高速(4m/sec)、中速(0.4m/sec)および静的の3ケースに設定した。载荷点での荷重をロードセルにより測定し、载荷速度を把握するために、レーザー変位計により、载荷治具の変位を測定した。

表-1 示方配合

W/C	s/a	単位量(kg/m^3)				混和剤
(%)	(%)	W	C	S	G	(cc)
50	38.5	170	340	637	1080	97.9

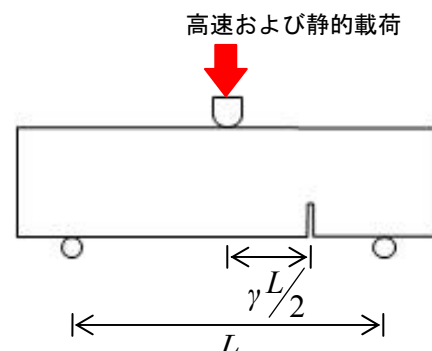
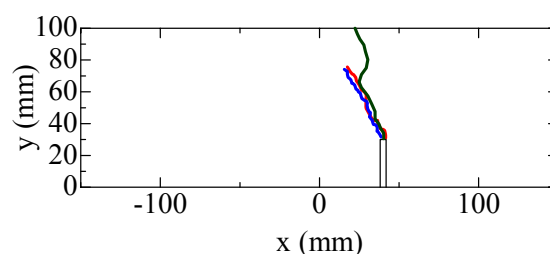


図-1 供試体概要と载荷条件



—: 静的载荷, —: 中速载荷, —: 高速载荷

図-2 ひび割れの進展状況 ($\gamma = 0.267$)

3. 実験結果

図-2にひび割れ進展経路を示す。静的载荷実験におけるひび割れ進展経路は载荷後にデジタルカメラで撮影した画像から、中速および高速载荷実験では、载荷時に撮影した高速カメラの画像から抽出した。 $\gamma = 0.267$ のひび割れ進展経路に着目すると、载荷速度によるひび割れ進展経路の明確な変化は見られないことが分かる。 $\gamma = 0.533$ においても同様の傾向であることが分かる。

キーワード 混合モード, ひずみ速度効果, ひび割れ進展挙動, 剛体バネモデル

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校 TEL 046-841-3810

4. ひび割れ進展解析

4.1 解析概要

本研究では、ボロノイ分割を用いたランダムな要素形状を有する3次元RBSMによりコンクリートをモデル化した。各要素内の重心に6自由度の3次元剛体変位を設定し、要素境界面上には、垂直バネおよびせん断バネからなるバネ系を配置し、バネにはコンクリートの材料特性を導入する。垂直バネには、破壊エネルギーを用いて引張軟化1/4モデルを導入し、圧縮応力下では線形弾性と仮定し破壊は生じないものとした。せん断バネにはモール・クーロン型の破壊基準を用い¹⁾、また、ひび割れ発生後には、ひび割れの開口に伴いせん断バネの剛性が低下するモデルを用いた¹⁾。静的挙動に対してはRBSMにより離散化された剛性方程式を解き、材料の構成モデルに従って非線形解析を行う手法を用いた。一方、動的挙動に対してはRBSMにより離散化された運動方程式を、中心差分法を用いて解いた。

解析モデルを図-4に示す。解析は、荷重点および支承部に梁軸方向の長さが10mmの荷重板要素を設け、それぞれの荷重板要素の水平方向およびz軸周りの回転自由度を除く全ての自由度を固定し、静的解析では、梁上部の荷重板要素を変位制御により、動的解析では、実験により計測された荷重治具の変位-時間関係を入力することで解析を行った。

4.2 解析結果

図-5に、解析結果の一例として、 $\gamma=0.533$ の高速荷重により得られたひび割れの進展状況を示す。解析は3次元であるため、図にはそれぞれ $z=10\text{mm}$ 、 $z=50\text{mm}$ 、 $z=90\text{mm}$ の断面におけるひび割れの進展状況を示している。赤色の線は垂直バネの軟化が進展し応力が0まで低下したことを示している。解析は3次元モデルであり、また、ひび割れは要素境界面にのみ生じるため、要素分割に依存して奥行方向位置によりひび割れ進展方向は異なるが、概ね実験結果を捉えていることが分かる。

5. 結論

本研究により以下の知見を得た。

- (1) 混合モード下のひび割れ進展方向は、荷重速度によらずほぼ同様の傾向を示した。このことは、本実験の範囲では、ひずみ速度は混合モード下のひび割れの進展方向に与える影響が小さいことを示している。
- (2) 3次元RBSMを用いて解析を行った結果、同手法により混合モード下のひび割れ進展挙動を再現することができた。

参考文献

- 1) Saito, S., Hikosaka, H. : Numerical analyses of reinforced concrete structures using spring networks with random geometry, JSCE, No.627, V-44, pp.289-303, 1999.

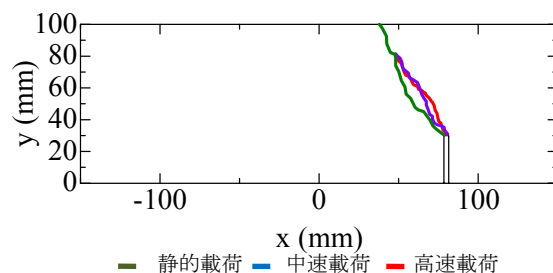


図-3 ひび割れの進展状況 ($\gamma=0.533$)

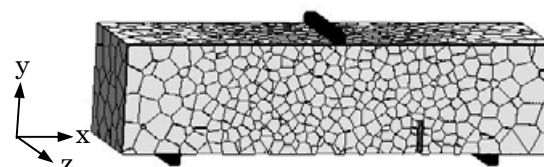
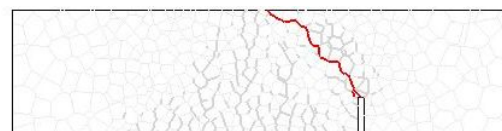
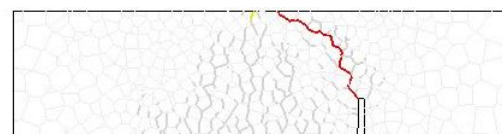


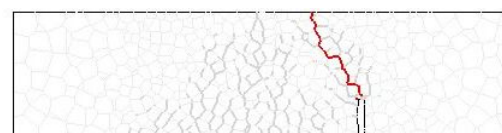
図-4 解析モデル



(a) $z=10\text{mm}$



(c) $z=50\text{mm}$



(b) $z=90\text{mm}$

図-5 ひび割れ進展状況