

高速衝突を受ける鉄筋モルタル梁の局部破壊に関するシミュレーション解析

防衛大学校 学生会員 ○柴田 大希 正会員 別府万寿博

1. 緒言

高速衝突による衝撃荷重がコンクリート構造物に作用すると、構造物には衝突部の近傍だけが破壊する局部破壊が発生する。局部破壊が発生すると、室内機器や人命等が損失する可能性が高いため、防護設計法を確立する必要がある。これまでに局部破壊について研究がなされている¹⁾が、その発生メカニズムについては未解明な点が多い。本研究は、鉄筋モルタル梁に対する高速衝突実験のシミュレーション解析を行い、局部破壊の発生メカニズムについて検討したものである。

2. 高速衝突実験の概要および実験結果

実験は、高圧空気式飛翔体発射装置を使用して行った。飛翔体は質量 46g、材質は鋼材 (SS400)、先端形状は半球型、直径 25mm である。また、飛翔体の衝突速度は 200m/s である。供試体は、骨材を含まず比較的均質な材料であるモルタルを用いて梁を作成した。モルタルの圧縮強度は 23.0N/mm²、ヤング率は 19.4kN/mm² である。寸法については高さ 100mm×長さ 500mm×幅 70mm であり、内部をスターラップ (D6) で補強している。供試体は発射口から約 1m の位置に設置した鋼製支持具に、上下 2 辺をクランプにより固定した。写真-1 に、実験結果を示す。写真から、衝突部の大きな破壊を伴い、点 A、D、F の方向に沿って裏面剥離が生じたことがわかる。

3. 数値シミュレーション

3.1 解析モデルおよび解析ケース

解析は、衝撃解析コード AUTODYN を用いて実施した。図-1 および表-1 に、解析モデルと解析定数をそれぞれ示す。モルタルおよび飛翔体はソリッド要素、鉄筋は beam 要素でモデル化をしている。モルタルには状態方程式は線形、降伏条件は Drucker-Prager 降伏基準、破壊条件はスポール破壊基準を適用している。鉄筋および飛翔体には、状態方程式は線形、降伏条件は Von-Mises 降伏基準を用いた。また側面および裏面に、図-1 (a)、(c) に示す。データ出力点を配置して、側面の最大せん断ひずみ～時間関係、側面の加速度、速度、変位および裏面のひずみを出力した。

3.2 解析結果

図-2 に、解析で得られた破壊過程を示す。図中の緑は弾性、青は塑性、赤は破壊を示している。衝突後 t=0.04ms では、塑

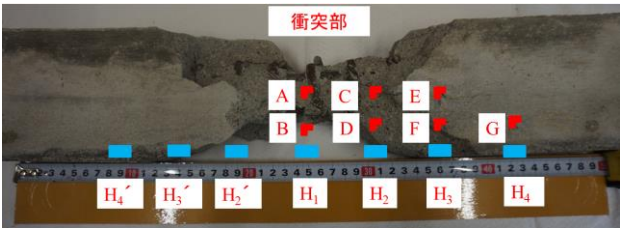


写真-1 実験結果

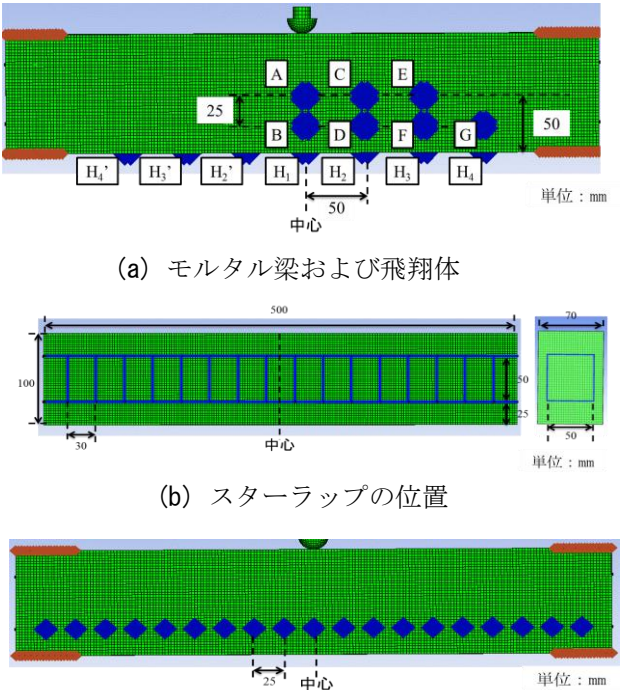


図-1 解析モデル

表-1 解析定数

モルタル	密度(g/cm3)	2.05
	ヤング率(N/mm ²)	1.94×10 ⁴
	一軸圧縮強度(N/mm ²)	23
	状態方程式	線形モデル
	降伏条件	Drucker-Prager
	破壊条件	スポール破壊
鉄筋	密度(g/cm ³)	7.9
	ヤング率(N/mm ²)	2.0×10 ⁵
	降伏応力(N/mm ²)	3.56×10 ²
	状態方程式	線形モデル
飛翔体	降伏条件	Von-Mises
	密度(g/cm ³)	7.9
	ヤング率(N/mm ²)	2.0×10 ⁵
飛翔体	状態方程式	線形モデル
	降伏条件	Von-Mises

キーワード 高速衝突、鉄筋モルタル梁、局部破壊、シミュレーション解析

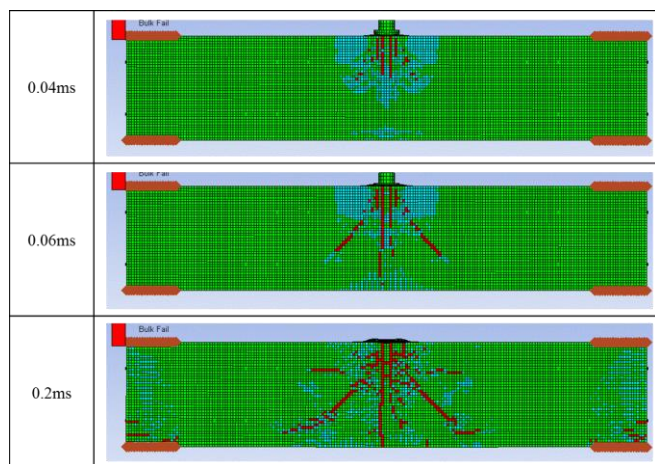


図-2 解析結果による破壊性状

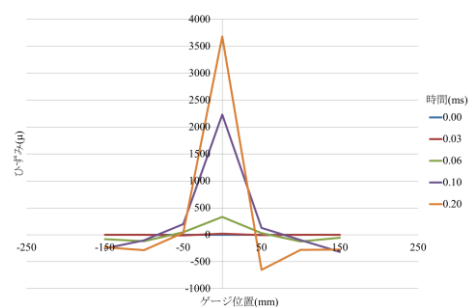
性化領域が進展していることがわかる。次に、 $t=0.06\text{ms}$ では斜めひび割れが発生し、 $t=0.06\sim 0.2\text{ms}$ の間に裏面へと進展していることがわかる。図-3に、側面および裏面のひずみ応答を示す。図-3(a)より、斜めひび割れが発生した $t=0.06\text{ms}$ では、梁の中央部に、非常に大きな引張ひずみが卓越して発生していることがわかる。また、 $t=0.06\text{ms}$ 以降では、引張ひずみが生じた領域の外側に圧縮ひずみが生じている。すなわち、局所的な領域に3次の曲げモードに類似した変形が生じたことを示している。図-3(b)に、側面の最大せん断ひずみ～時間関係を示す。 $t=0.06\sim 0.2\text{ms}$ の間に、斜めひび割れが通過する出力点A～D、Fの値が、他と比較して約5倍程度大きくなっていることがわかる。図-4に、側面の加速度、速度および変位分布を示す。特に、速度、変位は、斜めひび割れが発生している部分において値が大きくなっていることがわかる。これらの結果からも、供試体の局所的な変形が、斜めひび割れの発生に大きな影響を与えていると言える。

4. 結言

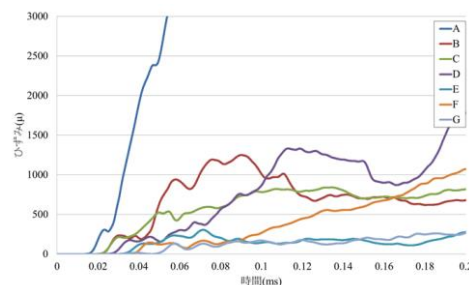
本研究は、数値シミュレーションを用いて、高速衝突を受ける鉄筋モルタル梁の局部破壊のメカニズムについて検討したものである。飛翔体の衝突後に、供試体中央部には局所的な変形が発生し、3次の曲げモードに類似した変形が生じることがわかった。この変形によって斜めひび割れが発生、進展して裏面剥離を形成することがわかった。

参考文献

1)別府万寿博, 三輪幸治, 高橋順: 高速衝突を受けるコンクリート板の裏面剥離発生メカニズムと連続繊維シート補強効果, 土木学会論文集, Vol.68, No.2, pp.398-412, 2012.

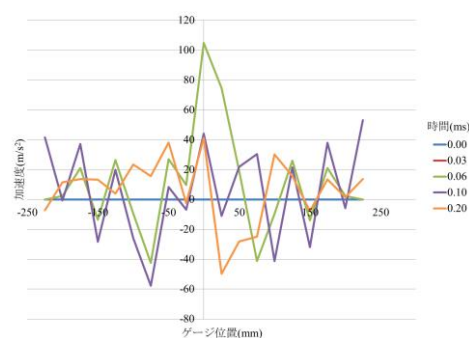


(a) 裏面のひずみ分布

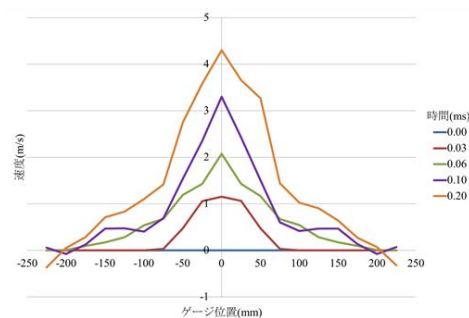


(b) 側面のせん断ひずみ～時間関係

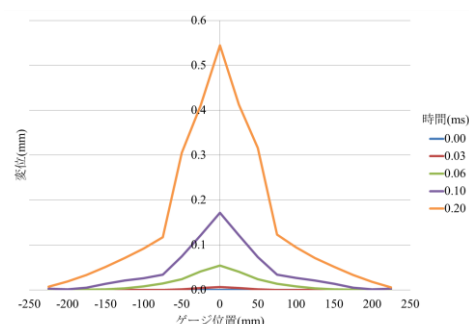
図-3 側面および裏面のひずみ



(a) 加速度



(b) 速度



(c) 変位

図-4 側面の加速度、速度および変位分布