

V-434

モルタルに鋼棒を埋込んだ疑似コンクリートの一軸圧縮下での亀裂進展と破壊性状

神戸大学 正会員 大谷恭弘
 新日本製鐵 非会員 永山浩三
 神戸大学 非会員 吉原 毅

1. はじめに 一般に、コンクリート材料には荷重以前から骨材とモルタルの界面近傍において初期亀裂が存在している。一軸圧縮を受けるコンクリート材料では、荷重方向に平行な亀裂、ならびに最終的にせん断帯を形成する斜め亀裂が観察される。本研究では、粗骨材の代わりに鋼棒を用いた疑似コンクリート供試体を製作し一軸圧縮荷重実験を行った。荷重前、及び荷重中において、微視的な亀裂・破壊現象を観察し、初期亀裂の傾向、及び荷重に伴うそれらの進展と最終破壊状況に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法 亀裂進展の観察を容易にするため、角鋼棒をモルタル中に2次元的に配した疑似コンクリート供試体を用いて一軸圧縮荷重実験を行った。代表的な供試体の形状をFig.1に示す。Fig.2のように、16mm磨き角鋼棒を中心間隔28mmで9本配置した供試体S16-9Aを基準飽和状態とし、それを基本として鋼棒の配置角度や本数、配置方法を変えた供試体を15種類、合計20体作製した(Table.1)。各供試体とも、鋼棒を型枠に固定し、上からモルタルを流し込んで製作した。各供試体に用いたモルタルの配合及び実験時の強度をTable.2に示す。一軸荷重は供試体長辺方向に平行に圧縮力を負荷して行った。荷重に先立ち鋼棒周辺の初期亀裂の観察を、また、荷重の各段階での亀裂進展の観察を行った。

3. 初期亀裂 荷重前に供試体中の鋼棒周辺における初期亀裂をマイクロSCOPEにより観察した。Fig.3にその一例を示す。図中の数値は初期亀裂及び初期間隙幅である。鋼棒角部における初期亀裂は基本的に、鋼棒の角部において、鋼棒の対角線を延長した方向に存在している(b)。配置角度が正方形の状態から45°傾けたパターンPのシリーズであると鋼棒左右の角からは斜め上45°方向に存在している(a)。正方形の状態で配置したパターンSのシリーズにおいても、鋼棒下側の左右の角に同様の傾向が見られた供試体があったがそれらは全体の約2割であった(b)。これら45°上方向の初期亀裂には、ブリージングによる間隙が大きく影響している。鋼棒が隣接していると、パターンPにおける上下の角の初期亀裂は、角と角を直線的に結ぶように存在しているが(c)、それ以外は、曲線的に存在している事が確認された(d)。初期亀裂幅のオーダーは $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{mm}$ であった。

4. 荷重に伴う亀裂進展 荷重に伴う亀裂の進展過程および最終破壊状況を観察した。以下では同一の鋼棒本数と配置方

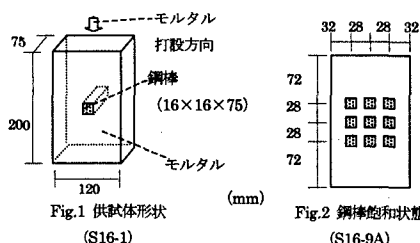


Fig.1 供試体形状 (S16-1)

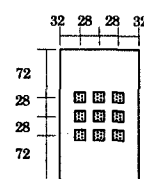


Fig.2 鋼棒飽和状態 (S16-9A)

Table.1 供試体シリーズ

供試体名	配置角度パターン 注1)	鋼棒本数 注2)	配置方法 注2)	モルタルのバッチ	端面条件 注3)		最大荷重 (t)
					デフロン	鋼板	
P16-1(1)	P	1		A			16.3
P16-1(2)				B	○		24.6
P16-2V		2	V				26.7
P16-2H			H				17.3
P16-2D			D				18.3
P16-3V		3	V		○		21.5
P16-3H			H	C	○		10.2
P16-3D			D		○		11.0
P16-4A		4	A				17.5
P16-4B			B	A			14.5
P16-9A(1)		9	A				10.9
P16-9A(2)				B	○		12.1
P16-9A(3)				C		○	10.9
S16-1(1)	S	1		A			24.1
S16-1(2)					○		25.4
RS16-1 注4)					○	○	27.1
S16-2V		2	V	D			24.8
S16-2H			H		○		18.2
S16-2D			D		○		19.6
S16-9A		9	A		○		19.2

1) 配置角度/パターン: S...正方形配置, P...Sを45°傾けた菱形配置

2) 配置方法: A...配置した鋼棒の外周が正方形の状態, B...外周が菱形の状態, V...垂直に配置, H...水平に配置, D...斜めに配置

3) 端面条件: 供試体と加力板の間にデフロンシート又は鋼板を使用

4) 供試体 RS16-1: 表面に溝を付けた鋼棒を使用

キーワード: ひび割れ、初期亀裂、亀裂進展、せん断帯

連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 (TEL 078-803-6044 FAX 078-881-3921)

Table.2 モルタルの配合及び強度試験結果

バ ッ チ	W kg/m ³	C kg/m ³	S kg/m ³	W/C %	σ_c kg/cm ²	σ_t kg/cm ²
A	369	659	1186	56	185	27.29
B	369	738	1186	50	320	26.28
C	369	738	1186	50	339	26.28
D	330	659	1423	50	305	18.09

1) W:水, C:セメント, S:砂, W/C:水セメント比, σ_c :圧縮強度, σ_t :引張強度2) シリンダー寸法: $\phi 10 \times 20$ (cm)

法で、配置角度パターンが異なる2つの供試体を1セットとし、3セット合計6体の供試体を例に挙げ、マイクロスコープを用いた微視観察レベルでの鋼棒周辺の亀裂進展及び目視観察レベルでの最終破壊状況への移行に着目して比較する (Fig.4~6)。図中の数字は、最大荷重に対する観察時の荷重の割合を示している。いずれの供試体においても、載荷に伴い鉛直方向の初期亀裂はそのまま鉛直方向に進展していくが、水平方向(載荷に垂直)の初期亀裂は閉口していく傾向が観察された。+45° 上方向の初期亀裂も向きを鉛直方向に変え進展していく。上下に隣接しているパターンSの鋼棒間の初期クラックや、最下層の鋼棒下部の初期クラックは閉口し、新たな鉛直方向の亀裂が進展するなどの傾向が見られた。鋼棒が複数配置の場合の亀裂進展模様は、単一配置の場合の単なる組合せではないが、最下層の鋼棒周辺の模様が単一の場合の傾向に極めて類似していることが図から分かる。また、それぞれのセットの比較から、亀裂進展模様は、初期亀裂模様を支配する配置角度には支配されず、むしろ、配置方法に支配される傾向にあることが分かる。各供試体はせん断帯が形成され最終破壊状況に至っている。初期亀裂の模様は鋼棒の配置角度により異なるが、その後の亀裂進展模様や最終破壊状況は、ほぼ同様となる傾向を示すことから、初期亀裂模様の違いは、最終破壊形態に影響を及ぼさないことが分かる。

5.FEM 解析 実験により、鉛直ひび割れが分布した後せん断破壊面が形成されることが確認された。そこで、鉛直ひび割れからのせん断破壊面の形成、すなわち破壊形態の移行を検討するため、Fig.7 に示すような解析モデルを用いてFEM解析を行い、鉛直ひび割れをモデル化したスリットを設ける場合と設けない場合で比較した。なお、解析は2次元平面応力解析で行った。スリットを設ける場合と設けない場合では、変形形態に大きな違いが見られ、Fig.8 に示す様に、スリットの存在がせん断滑り面形成には必要であることが伺える。

6.まとめ 初期亀裂模様は鋼棒の配置角度に依存し、一軸圧縮載荷に伴い、初期亀裂を基点として載荷方向に亀裂が進展する。しかし、初期亀裂模様は、載荷に伴う亀裂進展模様や最終破壊状況を支配するものではない。また、載荷方向に分布するひび割れがせん断破壊面形成をもたらす要因となる。

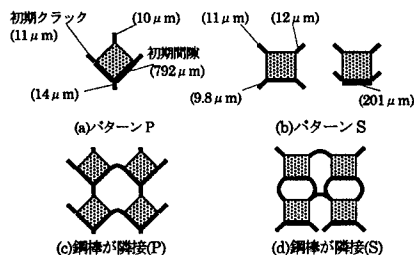


Fig.3 初期亀裂及び初期間隙模要図

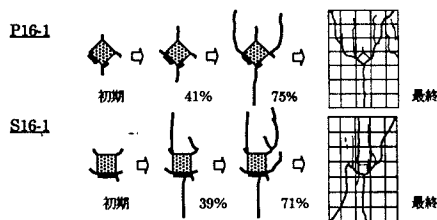


Fig.4 供試体 P16-1(上)と S16-1(下)の亀裂進展

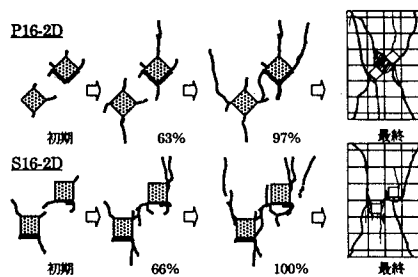


Fig.5 供試体 P16-2D(上)と S16-2D(下)の亀裂進展

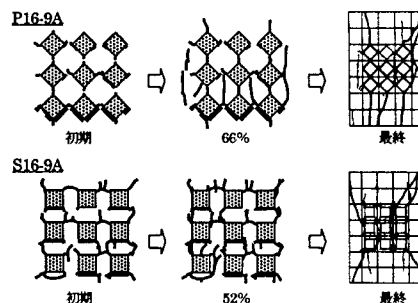


Fig.6 供試体 P16-9A(上)と S16-9A(下)の亀裂進展

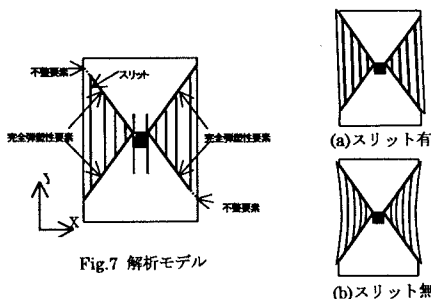


Fig.7 解析モデル

Fig.8 変形形態の比較