第 I 部門　　横拘束コンクリート供試体の一軸圧縮挙動に関する一考察

京都大学工学部　学生員　○佐藤　芳樹
京都大学防災研究所　正会員　高橋　良和
京都大学防災研究所　正会員　後藤　浩之

１．　はじめに

コンクリート構造物を設計するに際し，道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編[1)] のコンクリートの応力度―ひずみ曲線が広く用いられている．しかし，この式は帯鉄筋体積比をパラメータとして含んでいることから分かるように，コンクリートの構成式ではなく横拘束されたコンクリート柱の一軸圧縮挙動に関する公称応力―公称ひずみ関係である．本研究ではこのことに留意しながら，横拘束されたコンクリート供試体の一軸圧縮挙動について実験と解析から検討する．

２．　一軸圧縮載荷試験

高さ 200mm，直径 100mm の円形断面で，端部の摩擦を小さくするためにグリースを塗った主筋の入っていないコンクリート実験供試体を対象に変位制御による一軸圧縮載荷試験を行った．実験ケースは以下に示す 3 種類とした．ケース 0 ではプレーンコンクリート，ケース 1 では中央に 1 本横拘束筋を巻いた場合，ケース 2 では上下面に横拘束筋を巻いた場合の一軸圧縮挙動について検討するために製作した．

ケース 0 では供試体天端の一面側から斜めにひび割れが発生，進展して，垂直に割れる破壊が生じ，また応力がすぐに 0 になり，ぜい性的な挙動を示した．ケース 1 では中央に横拘束筋を巻くことでケース 0 のような高さ方向全域に及ぶようなひび割れは抑制され，中規模なひび割れがたくさん確認された．ケース 2 ではケース 1 のような緩やかな挙動を示さず，比較的ケース 0 に似た挙動を示した．また，ひずみ量から横拘束筋は降伏していなかった．これより，摩擦の影響が大きいためケース 0 においても両端で拘束されており，横拘束筋の影響が実験結果に大きく表れなかったと考えられる．また，図 1 のようにひび割れが天端からではなく側面から発達していた．したがって，コンクリート供試体は横拘束筋の巻き数，位置など条件によってさまざまな破壊性状を示すことが分かる．

図 1 破壊性状

３．　三次元有限要素解析

３．１　モデル化

コンクリートがわずかな要因でその挙動や破壊のメカニズムが大きく左右されてしまうことを弾塑性理論に基づき 3 次元非線形有限要素法を用いて解析した．コンクリート供試体を図 2 のように 3 次元 8 節点立方体有限要素に分解し，対象性を考慮して全体の 1/8 の部分をモデル化した．境界条件は対称面においては直角方向に変位を拘束し，載荷面における横拘束，すなわち x，y 方向の変位の拘束はないものとした．本解析を行うに際して圧縮を負として定義することにした．降伏関数には Drucker-Prager 型降伏関数を用いた．また，関連流れ則を用い，塑性ポテンシャルは降伏関数と同じ形とする．

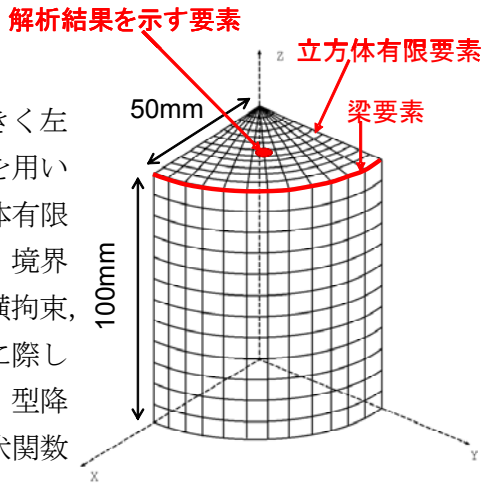

図 2 有限要素解析モデル

Yoshiki SATO, Yoshikazu TAKAHASHI and Hiroyuki GOTO

３．２　プレーンコンクリート

最初に，コンクリート供試体上面に摩擦を考慮しない場合について解析を行うと $I_1 - J_2$ 応力空間で全ての節点において I_1 が負の領域で降伏関数に重なり，圧縮応力によるせん断破壊しか見られなかった．しかし摩擦がないというのは理想的な条件であり，実際には実験結果などを見ても摩擦は働いていると考えられる．

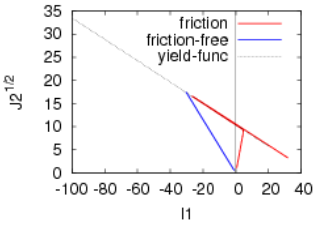

図 3　摩擦

摩擦を考慮するために極端な例として天面にある 1 個の節点（解析結果を示す要素の 1 個の節点とした）の変位の x，y 成分を固定する条件を加えて解析を行うと応力空間において図 3 のように I_1 が正の領域で降伏関数に重なる要素が存在し，引張応力による破壊が発生していることを示している．ただし，コンクリートが引張応力により塑性域に入る場合，本来は I_1 の正の領域で DP 型ではなく半円状であると考えられるため，このモデルでは I_1 が正で降伏した場合，以後の解析に信頼性はない．

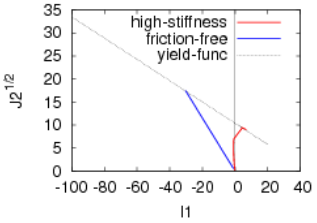

図 4　初期不整

初期不整を考慮するために天面の要素（解析結果を示す要素の隣の要素とした）のヤング率を大きくした条件を加えた解析を行うと図 4 のように載荷当初は引張領域に大きく進むことはなかったが，ある時点から急速に引張領域に進み，引張応力で破壊する要素が存在した．

以上 2 つの条件についての解析を見ても分かるとおり，コンクリートはその挙動や破壊性状が初期不整などのわずかな要因によって巨視的な耐力が大きく左右されてしまうことが分かる．これはケース 0 の実験においてぜい性的に破壊したという実験結果と一致する．

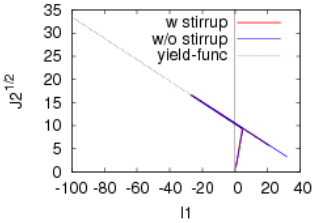

図 5　摩擦+横拘束筋

３．３　横拘束コンクリート

横拘束筋による一軸圧縮挙動への影響を確認するために，摩擦の条件に横拘束筋を天面に梁要素としてモデル化して導入し解析を行った．梁要素は立方体有限要素と x，y，z の並進方向の自由度を一致させている．その結果は図 5 のように I_1 が負の方向に寄るなどの横拘束筋による効果は表れなかった．この解析条件に対応するケース 0 とケース 2 の実験結果を比較すると破壊性状が異なっており，いずれかの解析結果が実験結果を反映していない可能性がある．その原因として横拘束筋を入れない解析において降伏後の挙動が引張領域で DP 型の直線上に拘束されることにより、横拘束筋がないにも関わらず引張応力により拘束されていた可能性などが考えられる．

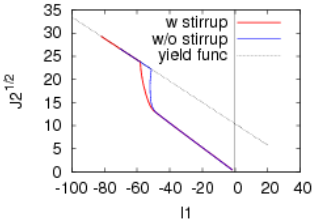

図 6　横拘束筋(中央)

次に，実験ケース 0 とケース 1 を対象とした解析を行った．本解析では上面の摩擦を考慮して上面の円周上以外の点の変位の x，y 成分を拘束してモデル化した．図 6 のように横拘束筋を入れることにより応力空間において左側に移動した．これにより左上がりの降伏関数に当たりにくくなり，引張応力による破壊が生じる可能性を下げるだけではなく，I_1 の絶対値を大きくしてせん断降伏応力を上げる拘束効果が確認できる．

4.　まとめ

実験より載荷面の摩擦の拘束の影響が大きく，上下面の横拘束筋の影響は実験結果に大きく表れないことが分かった．解析から横拘束筋を入れることにより応力空間において左側に移動させることができることが分かった．これにより左上がりの降伏関数に当たりにくくなり，引張応力による破壊が生じる可能性を下げるだけではなく，I_1 の絶対値を大きくしてせん断降伏応力を上げる効果がある．

参考文献

1)日本道路協会，道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002 年