

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760352

研究課題名（和文）メゾスケール力学モデルによる横補強コンクリートの変形・破壊機構と寸法依存性の評価

研究課題名（英文）Evaluation of failure mechanism and size effect of confined concrete under axial compression using mesoscopic mechanical modeling

研究代表者

山本 佳士 (YAMAMOTO YOSHIHITO)

防衛大学校・システム工学群・助教

研究者番号：70532802

研究成果の概要（和文）：補強鋼材により横拘束されたコンクリート（以下、コンファインドコンクリート）の変形・破壊機構およびその寸法依存性を数値解析により評価することを目的として、コンクリートのメゾ（準微視）スケール力学挙動に立脚して構築した剛体バネモデルに、鉄筋および鋼管を表現するはり要素およびシェル要素を結合した解析手法を開発した。既往の実験結果との比較により開発手法の適用性を確認するとともに、同手法を用いたパラメトリックスタディーを行い、コンファインドコンクリートの圧縮応答に現れる寸法依存性機構についてメゾの視点から考察した。

研究成果の概要（英文）：A coupled RBSM (Rigid-Body-Spring Model) - FEM model has been developed for evaluation of failure mechanism of confined concrete under uniaxial compression. In the proposed model, the RBSM is applied meso-scale constitutive models, and the steel reinforcing material for lateral confinement is modeled by a series of beam and shell elements. By comparing numerical results with the empirical formulas or the experimental results, it is confirmed that the proposed model can reasonably evaluate the compression response of confined concrete specimens. In addition, a parametric study of the influence of specimen size was conducted with the proposed model in order to discuss the mechanism of the size dependence.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	0	2,200,000
2011年度	500,000	0	500,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	0	2,700,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：拘束コンクリート，メゾスケール，剛体バネモデル，圧縮軟化・局所化，寸法依存性

1. 研究開始当初の背景

帯鉄筋や鋼管などで横補強されたコンクリート（以下、コンファインドコンクリート）は、1軸圧縮下において、補強材の拘束効果により高い圧縮強度と優れた靱性を示す。兵

庫県南部地震以降、土木構造物の設計は、大地震に対して、耐力だけでなく靱性を確保することにより致命的な被害を避けるという考えが基本となっており、コンファインドコンクリートは靱性能向上のための有効な手段

の一つとして認識されている。このような背景から、1軸圧縮下におけるコンファインドコンクリートの強度ならびに靱性能を評価するための実験的研究は数多く行われてきた。

一方、コンクリートには、試験に用いる供試体寸法が大きくなるにつれて強度が低下する現象、いわゆる寸法効果が存在することが知られている。寸法効果を把握することは、縮小モデル試験体から得られた知見を実大構造物の性能評価に反映させる上で非常に重要である。コンファインドコンクリートの圧縮特性における寸法効果については、これまでもいくつかの実験的研究がなされている。しかしながら、例えば、荷重装置の性能から供試体寸法が制限されてしまうなど、実験条件の範囲が限られているため、十分に把握・評価されているとは言い難い。この問題に対しては、数値解析の援用による実験により得られた知見の補完が有用な手段として考えられる。さらに、数値解析を用いて、実験では観察が困難な供試体内部のひび割れ進展過程や応力伝達機構を評価することにより、寸法効果のメカニズムの解明に資する知見を得ることも期待できる。

2. 研究の目的

このような背景を踏まえ、本研究では、まず、コンファインドコンクリートの圧縮特性、特に、巨視的・平均的な強度、変形性状のみならず供試体内部の抵抗機構までを評価できる数値解析モデルを開発する。さらに、開発した解析モデルを用いて、供試体寸法の影響を検討するためのパラメトリックスタディーを行い、コンファインドコンクリートの圧縮特性における寸法依存性およびそのメカニズムについて考察する。

3. 研究の方法

本研究の方法は、大きく以下の2つに分類される。

- (1) 研究代表者は、既に、メゾ（準微視）スケールの力学挙動に立脚して構築した構成モデルを適用した3次元RBSM（図-1参照）を開発している。同手法は、圧縮応力下におけるコンクリートの、巨視的なひずみ軟化挙動、変形・破壊の局所化挙動、圧縮に伴う体積膨張挙動ならびに拘束圧依存性挙動を定量的にも再現できる。本研究では、この3次元RBSMに、横補強鉄筋や鋼管を表現する、はり要素およびシェル要素を結合した手法を開発する。
- (2) 開発した数値解析手法を用いてコンファインドコンクリートの寸法依存性を評価するためのパラメトリックスタディーを行い、コンファインドコンクリートの巨視的応答

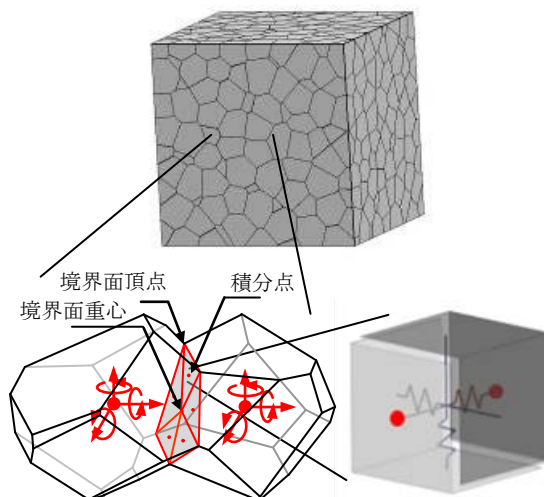


図-1 剛体バネモデル

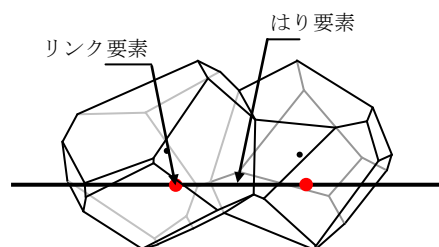


図-2 鉄筋モデル

に現れる寸法依存性状の有無およびその影響度を評価する。さらに、コンファインドコンクリートの内部抵抗機構および寸法依存性の発現機構の評価を行う。

4. 研究成果

- (1) 横補強鉄筋および鋼管で拘束したコンクリートの解析手法の開発

開発した数値解析モデルの概要を図-2に示す。鉄筋は、図-2のように一連の梁要素としてモデル化し、梁要素節点において長さ0のリンク要素を介してコンクリート剛体要素に結合する。リンク要素は、梁軸方向(1成分)、梁軸直角方向(2成分)の相対変位に対して抵抗するバネおよび各軸周りの相対回転変位に対して抵抗する回転バネからなり、梁軸方向の相対変位に対して抵抗するバネに非線形性を導入し、鉄筋-コンクリート間の付着すべり特性をモデル化した。一般に、RC部材の解析では鉄筋を梁要素でモデル化する際に断面分割は行わずに平均応力で評価するが、本研究では鉄筋の挙動の詳細な評価、特に圧縮を受けるコンファインドコンクリートの終局時に見られる局所的な曲げ変形の影響も評価することを目的として、鉄筋梁要素にファイバーモデルを用いた。鋼管を表

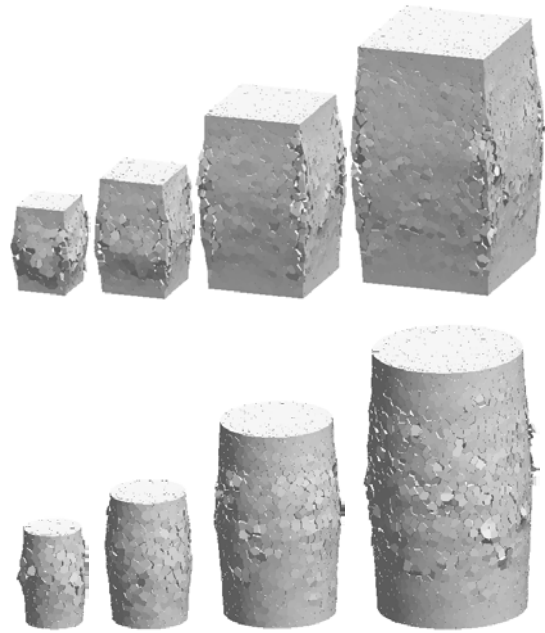
現するシェル要素もリンク要素を介して、RBSM 要素に結合した。ただし、RBSM 要素とシェル要素を結合するリンク要素には、シェル要素面に対して法線方向の相対変位およびシェル要素面に平行な軸まわりの相対回転に対して抵抗するバネのみを設定した。なお、実際には、剛体要素とシェル要素間には、シェル要素面接線方向の相対変位が生じ、これに対してせん断すべり、摩擦等の抵抗が生じるが、本研究では簡単のためこれを無視した。また、本研究では、座屈等の鋼管の複雑な応答を再現するために、幾何学的非線形性を考慮したシェル要素（1 節点あたり 5 自由度を有する 4 節点縮退シェル要素）を適用した。構成則には、面内成分に対して von Mises の降伏条件を用いた弾塑性型モデルを適用した。

開発した解析モデルの適用性は既往の実験結果および実験式との比較により検証した。開発した解析モデルは、妥当な精度で 1 軸圧縮下におけるコンファインドコンクリートの平均的な応力-ひずみ応答を再現できる。さらに、破壊の局所化現象および実験により確認されている範囲における供試体内部の応力分布性状を定量的にも妥当な精度で再現していることが分かった。

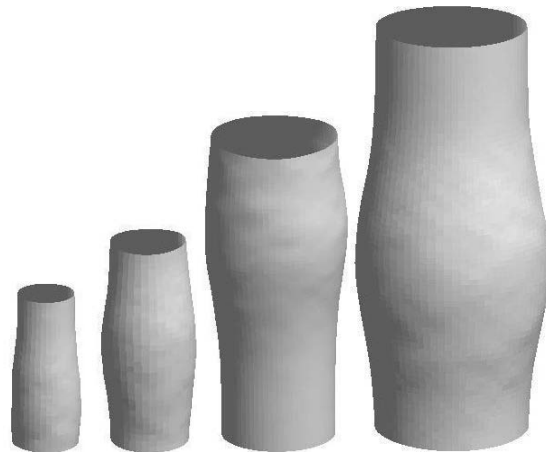
(2)パラメトリックスタディーによる寸法依存性の評価

コンファインドコンクリートの寸法依存性を評価するために、供試体寸法、鋼材比、断面形状、補強材形状を変化させたモデル供試体に対する 1 軸圧縮解析を行った。その結果、①角形断面供試体の方が、円形断面供試体より、供試体寸法の増加に対する強度の低下率が大きく、また、平均応力-ひずみ関係における軟化勾配の寸法依存性も顕著であること、②横補強鉄筋を用いたコンファインドコンクリートの場合、同一鉄筋量の条件では、横補強鉄筋間隔が小さいほど寸法依存性が小さくなること、③鋼管により、連続的に補強した方が、帯鉄筋により離散的に補強した場合より、寸法依存性が小さいことが示された。

ここでは、パラメトリックスタディーの一例を紹介する。図-3 は、横補強鉄筋により拘束された角形、円形断面供試体および鋼管により拘束された円形断面供試体の解析により得られた、終局時における変形状を示している。図-3(a)は RBSM 要素の変形状を示し、図-3(b)は鋼管を表現したシェル要素の変形状を示している。それぞれ、供試体高さ H と断面寸法 D （角形断面では幅、円形断面では直径に相当）の比および鋼材比を一定として断面寸法 D を 150mm, 200mm, 300mm, 400mm と変化させたケースの解析結果である。図より、解析は既往の実験で観察されるコンファインドコンクリートの変形状の



(a) 横補強鉄筋による拘束の場合



(b) 鋼管による拘束の場合

図-3 変形状

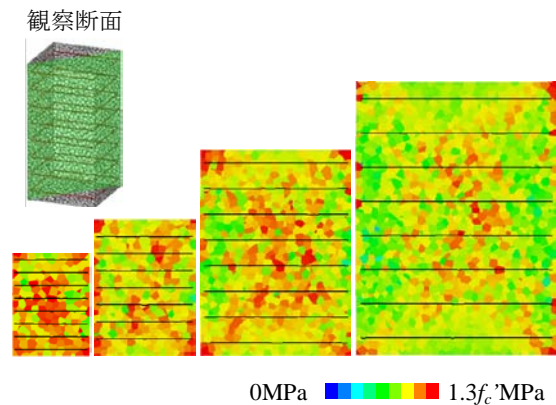


図-4 応力分布性状

特徴を良く捉えている。図-4 に、横補強筋によって拘束された角形断面コンファインドコンクリートの、最大荷重時における供試体内部の鉛直方向の垂直応力分布図を示す。この時点で、供試体内部では応力が供試体内で一様に生じるのではなく、偏在した分布性状を示している。なお、この応力分布性状は、荷重初期段階から生じる供試体内部の縦ひび割れの進展に伴い形成されていく。また、図-4 より、全ての供試体寸法のケースにおいて、供試体側部では 1 要素程度の幅を有する柱状の応力伝達機構が形成されていることが確認できる。解析では、この柱構造が横方向に変形し応力伝達機構を喪失することで、耐力低下に至る。この耐力低下の引き金となる柱構造の幅が、供試体寸法によらないことがコンファインドコンクリートの寸法依存性の要因の一つであると推測される。また、パラメトリックスタディーの結果、鋼管により補強したコンファインドコンクリートの方が、横補強鉄筋により補強したものよりも、寸法依存性が小さかった。これは、供試体側部の柱構造を、横補強鉄筋は離散的に拘束するに対し、鋼管は連続的に拘束するためであると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Yasar Hanifi Gedik, Hikaru Nakamura, Yoshihito Yamamoto, Naoshi Ueda and Minoru Kunieda, Effect of Stirrups on the Shear Failure Mechanism of Deep Beams, Journal of Advanced Concrete Technology, 査読有, Volume 10, 2012, pp.14-30, DOI: 10.3151/jact.10.14
- (2) Yasar HanifiGedik, Hikaru Nakamura, Yoshihito Yamamoto and Minoru Kunieda, Evaluation of Three dimensional Effects in Short Deep Beams using a Rigid Body Spring Model, Cement and Concrete Composites, 査読有, Volume 33, Issue 9, 2011, pp.978-99, DOI :110.1016/j.cemconcomp.2011.06.004
- (3) 山本佳士, 中村光, 黒田一郎, 古屋信明, 3次元 RBSM による横拘束コンクリートの 1 軸圧縮破壊解析, 土木学会論文集 E, 査読有, Vol.66 No.4, 2010, pp. 433-451, DOI:10.2208/jsceje.64.612

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 佳士 (YAMAMOTO YOSHIHITO)
防衛大学校・システム工学群・助教

研究者番号 : 70532802

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし