

超軽量骨材コンクリートの引張軟化挙動とそれを用いたRCはり非線形解析動

茨城大学工学部 正会員 福澤公夫

茨城大学大学院 学生員 曹 世鉉

茨城大学大学院 学生員 三井雅一

茨城大学工学部 正会員 木村 亨

1. はじめに

近年、土木構造物の巨大化や建築物の高層化に伴い、コンクリートの自重軽減が必要とされており、軽量コンクリートの研究が活発に行われている。とくに、単位容積質量が 1000kg/m^3 に近い値でありながら、 30MPa 程度の圧縮強度の得られる、超軽量コンクリートを構造的に用いることが注目されている。本研究は、超軽量コンクリートの構造部材の非線形有限要素法 (FEM) による構造解析の有用性について検討を行うものである。超軽量コンクリートは、ぜい性的な引張挙動を有することは知られていることから、引張軟化曲線を実験的に求め、同程度の圧縮強度を有する、普通コンクリートのそれと比較するとともに、それらの曲線を非線形 FEM 解析に用いることで、より適切な超軽量コンクリートはりの挙動をシミュレートすることが可能かどうかを検討した。

2. 引張軟化の推定

表-1に本研究で用いたコンクリートの配合を示す。超軽量コンクリート (ULC) に用いた粗骨材は、真珠岩を粉砕、造粒および焼成したものであり、見かけ密度 0.85 (絶乾時) である。細骨材は、廃ガラスを原料とし、粉砕、膨張剤添加、造粒および焼成して造るものであり、見かけ密度 0.59 (絶乾時) である。普通コンクリート (NC) の単位容積質量は、 2290kg/m^3 であり、超軽量コンクリートで 1280kg/m^3 である。図-1にコンパクトテンション (CT) 試験方法を示す。供試体は、予め切欠きを型枠に設けることで成形した。載荷は 500kN の変位制御万能試験機によって行い、変位速度を毎分 0.5mm と設定した。ロードセルにより引張荷重 P を、クリップゲージにより切欠き肩口部の開口変位量 CMOD を測定した。得られた P - CMOD 曲線を用いて橋高らにより提案された多直線近似法¹⁾により引張軟化曲線を推定した。図-2に得られた引張軟化曲線を示す。図から分かるように、普通コンクリートに比べ、超軽量コンクリートは軟化開始時の引張応力が低く、さらに引張応力が 0 となる仮想ひび割れ幅 w_c が小さい。この引張軟化曲線から超軽量コンクリートの引張挙動は極めてぜい性的であるといえる。

3. はりの曲げ試験

図-3に用いたはりの試験体を示す。配筋は曲げ引張破壊となる

表-1 コンクリートの配合

	W/C (%)	s/a	単位量 (kg/m^3)			
			W	C	S	G
NC	55	0.43	191	346	759	953
ULC	35	0.49	214	612	199	255
	単位容積質量 (t/m^3)		圧縮強度 (MPa)			
NC	2290		29.3			
ULC	1280		30.6			

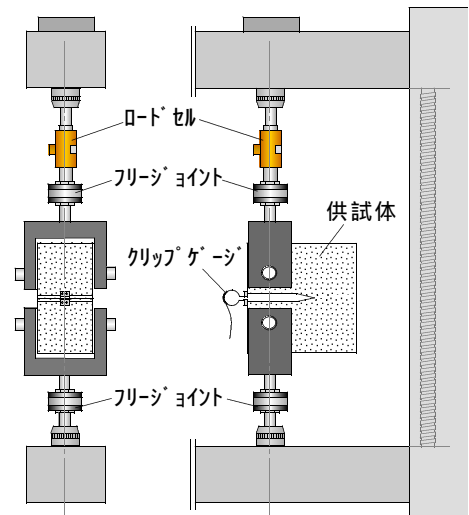


図-1 CT 試験

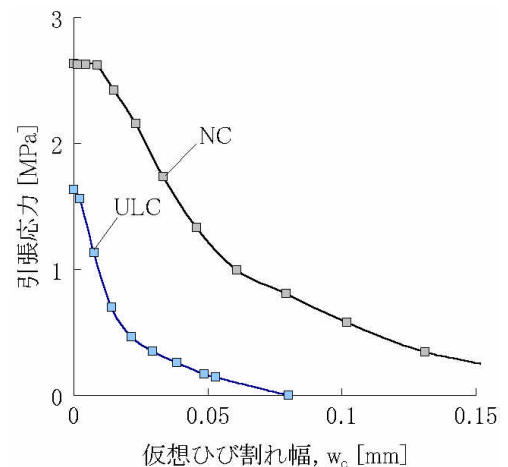


図-2 引張軟化曲線

キーワード 超軽量コンクリート, 人工軽量骨材, 引張軟化, 有限要素法

連絡先: 〒316-8511 茨城大学工学部都市システム工学科, TEL 0294-38-5162, FAX 0294-38-5268

よう鉄筋量 ($p = 0.0124$, D22 $\times$ 2)を定めた。また,せん断補強筋は $\phi 9$ の閉合型スターラップであり,せん断スパンに 8cm ピッチで配置した。

4. 非線形FEM解析

はりの曲げ試験をシミュレーションする非線形 FEM 解析を行った。解析では,コンクリートは平面応力の 4 節点固体要素を用い,主鉄筋およびせん断補強筋はその剛性を鉄筋と要素を共有するコンクリートの要素へ付加することが可能な 2 節点の埋め込み鉄筋要素とした。コンクリートの材料モデルとして,圧縮域は,はり同一のコンクリート供試体にて一軸圧縮試験を行った結果を反映させた。引張域は,図-2に示す仮想ひび割れ幅 w_c からバンド幅 h を考慮してひび割れひずみを算出し,得られた引張軟化挙動を分布ひび割れモデルとして入力した。鉄筋は材料試験を行い,その結果をマルチニアモデルとして与え,降伏基準は Von-Mises とした。なお,数値解析には非線形 FEM 解析コード, DIANA Ver.7.2 を使用した。

5. 実験・解析結果の比較および考察

図-4および図-5にははりの曲げ試験, FEM 解析より得られた荷重 - たわみ曲線および等価応力ブロックにより求めた最大荷重の計算値を示す。図に示されるように,コンクリートに因らず最大荷重はほぼ同値であるが,終局時のたわみは超軽量コンクリートが普通コンクリートの半分程度である。また,非線形 FEM 解析結果は,普通コンクリートおよび超軽量コンクリートとも降伏荷重や降伏後のたわみの増加傾向など精度良くシミュレートできていることが分かる。

また,表-2にひび割れ発生荷重の比較を示す。表に示す実験値は,ひび割れの観察により得られた値である。また,計算値は,コンクリートの引張強度に基づく弾性体としての値である。表に示すように,非線形 FEM による解析値は実験値に近い値を示していることが分かる。また,図-6は,荷重が 100kN の時点の超軽量コンクリートのひび割れ発生状況を比較している。この時点では,曲げひび割れの発生した後,支点 - 載荷点間におけるせん断ひび割れが進行している時点であるが,FEM 解析にてそのひび割れの状況が十分に再現されていることが分かる。以上のように,本研究にて行った超軽量コンクリートの引張挙動を正確に反映させた FEM 解析は,とくにコンクリートの引張挙動に依存するひび割れ発生時の挙動などを十分に再現できると言えよう。今後,まだ十分に把握できていない超軽量コンクリートのせん断伝達特性や鉄筋との付着特性を含めた非線形解析を検討していきたい。

参考文献

土木学会:コンクリートの寸法効果と引張軟化曲線,コンクリート技術シリーズ,1997。

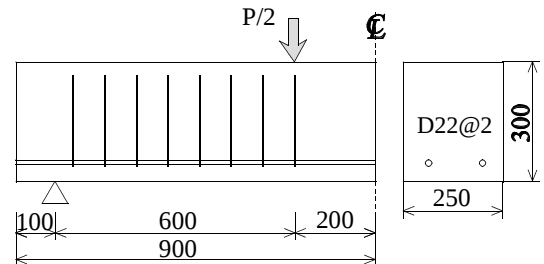


図-3 試験体

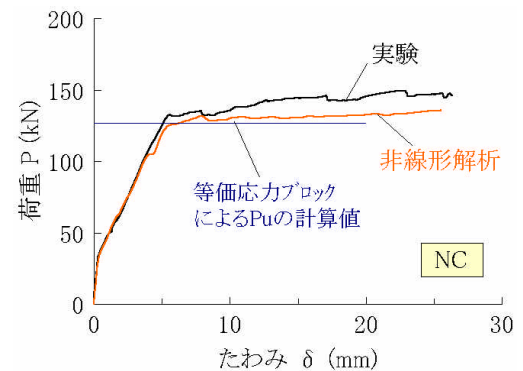


図-4 荷重 - たわみ曲線の比較 (普通)

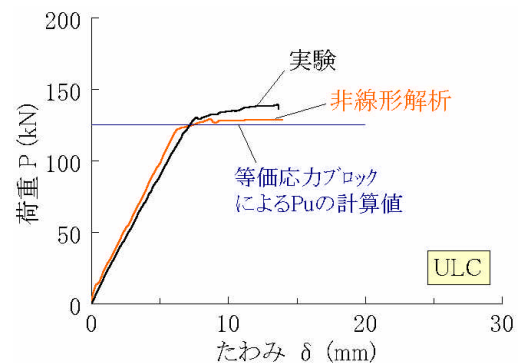
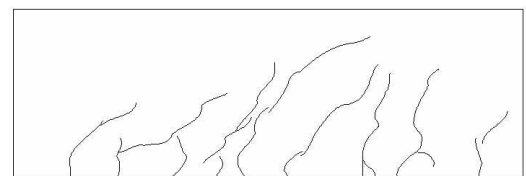


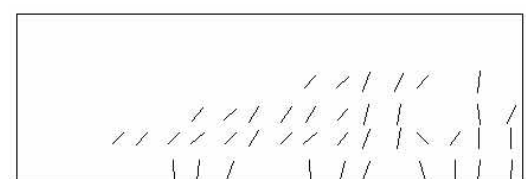
図-5 荷重 - たわみ曲線の比較 (超軽量)

表-2 ひび割れ発生荷重の比較 (単位 : kN)

	実験値	計算値	解析値
NC	50.0	32.9	38.8
ULC	30.0	20.4	28.0



(a) 実験



(b) 解析

図-6 ひび割れ図 (荷重 100kN 時, 超軽量)