

第 I 部門

軽量 RC 床版の押抜きせん断耐力算定における低減係数

近畿大学理工学部 学生員 ○山本 健太

近畿大学理工学部 正会員 東山 浩士

1. はじめに

コンクリート構造物への軽量化のニーズが高まる中、人工軽量骨材の使用が増加しつつある。しかし、一般に、軽量コンクリートの引張強度やヤング係数、破壊エネルギーは、普通コンクリートに比べて低下することが分かっている。これらの原因のひとつとして、骨材強度が低く、破壊時に骨材自身の割れを伴うためであるといえる。このようなことから、既往の研究¹⁾では、軽量コンクリートを適用した RC 床版の押抜きせん断耐力の評価方法について検討がなされてきた。すなわち、普通コンクリートを用いた RC 床版の押抜きせん断耐力算定式に低減係数を乗じることにより、軽量コンクリートを用いた RC 床版の押抜きせん断耐力を算定する方法である。この低減係数は、Hillerborg ら²⁾が提案したコンクリートの脆性度を表す指標である「特性長さ」($l_{ch}=E_c \cdot G_f/f_t^2$ 、ここで、 E_c :ヤング係数、 G_f :破壊エネルギー、 f_t :引張強度)を用いて、軽量コンクリートの特性長さ($l_{ch,L}$)と普通コンクリートの特性長さ($l_{ch,N}$)との比が線形関係を有すると仮定し、最終的に軽量コンクリートの単位体積質量 ρ (kg/m^3)で表さる次式を実験結果から近似している。

$$\alpha = 0.28 + 0.72 \left(\frac{\rho}{2300} \right)^{2.95} \quad (1)$$

本研究では、既往の研究にて提案された低減係数式(式(1))について、その誘導仮定である低減係数が特性長さの比と線形関係を有していることを検証するために、非線形 3 次元有限要素法プログラムを用いた解析により検討を行った。

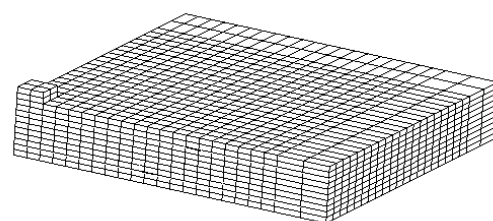


図-1 解析モデル

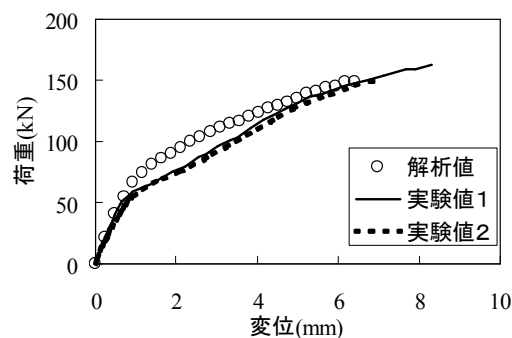


図-2 荷重と変位の関係(slab-AN)

表-1 構造諸元

試験体	床版厚 (mm)	鉄筋間隔(mm)		有効高さ (mm)
		下側	上側	
slab-AN	100	80	160	75
slab-AL	100	80	160	75
slab-BL	100	120	240	75
slab-CL	150	80	160	105
slab-DL	150	120	240	105

表-2 押抜きせん断耐力

試験体	解析値 (kN)	実験値 (kN)	実験値/解析値
slab-AN	149.3	157.2	1.053
slab-AL	135.4	136.4	1.008
slab-BL	110.3	123.0	1.115
slab-CL	231.2	235.4	1.018
slab-DL	189.0	194.5	1.029

2. 解析方法

本研究では、非線形 3 次元有限要素法プログラム ATENA を用いた。コンクリートのひび割れモデルには回転分散ひび割れモデルを採用した。また、コンクリートの構成則には、破壊一降伏基準に基づいたモデルを採用した。このモデルでは、全ひずみを弾性ひずみ、塑性ひずみ、破壊ひずみに分解し、塑性ひずみ成分は Menetrey-Willam の降伏基準に基づき、破壊ひずみ成分は Rankine の破壊基準に基づき評価される。鉄筋は軸方向の剛性のみを考慮した完全付着はり要素とし、完全弾塑性モデルとした。解析モデル(床版支間長は全て 1000mm)は、図-1 に示すように、その対称性から 1/4 モデルとした。また、要素は、床版厚さ方向の長さを 10mm、長て方向の長さを 25mm とした。载荷は変位制御による増分解析を行い、収束計算に Newton-Raphson 法を用いた。

Kenta YAMAMOTO and Hiroshi HIGASHIYAMA

まず、解析モデルの精度を検証するために、表-1 に示した試験体（実験結果）との比較を行った。その一例として、荷重－変位関係を図-2 に、また、全ての試験体の押抜きせん断耐荷力を表-2 に示す。これらより、押抜きせん断耐荷力は、試験体 slab-BL を除いてほぼ 5% 以内に収まっていることが確認でき、本研究の目的から解析精度は妥当であると判断した。

3. 低減係数式の検証

低減係数式の誘導仮定を検証するための解析パターンとして、床版厚を 100mm, 150mm の 2 パターン、コンクリートの単位体積質量を $1400\text{kg/m}^3 \sim 2200\text{kg/m}^3$ とした。なお、圧縮強度は 40N/mm^2 の一定値とし、引張強度、ヤング係数、破壊エネルギーは既往の算定式によりコンクリートの単位体積質量に応じて変化させた。低減係数と特性長さの比($l_{ch,L}/l_{ch,N}$)の関係を図-3 に示す。ここで、低減係数は普通コンクリートの押抜きせん断耐荷力算定式³⁾に対する解析値の比である。低減係数は、床版厚に関係なく特性長さの比と線形関係を有していることが分かる。この結果から、既往の研究¹⁾における低減係数式の誘導仮定が妥当であったといえる。次に、式(1)と解析結果の比較を図-4 に示す。解析結果は実験結果から近似した式(1)とよく一致していることが分かる。

4. パラメトリック解析

コンクリートの材料力学パラメータである引張強度と破壊エネルギーに着目し、それらが低減係数に及ぼす影響を調べるためにパラメトリック解析を行った。すなわち、破壊エネルギーの値を固定したモデルと引張強度の値を固定したモデルである。固定しなかった方の値はコンクリートの単位体積質量に応じて変化させ、固定した方の値は普通コンクリートと同じ値とした。なお、圧縮強度は 40N/mm^2 の一定値とし、コンクリートの単位体積質量は $1400\text{kg/m}^3 \sim 2200\text{kg/m}^3$ とした。低減係数と単位体積質量の関係（床版厚 100mm）を図-5 に示す。この結果から、引張強度の値を固定した場合、低減係数は式(1)に近い値となった。一方、破壊エネルギーの値を固定した場合、低減係数は式(1)よりも大きな値となった。このことより、低減係数に及ぼす影響は破壊エネルギーの方が顕著であることが分かる。

5. まとめ

既往の研究にて提案された低減係数の誘導仮定である、低減係数と特性長さの比の関係を検証することができた。また、解析結果は提案された低減係数とよく一致した。さらに、パラメトリック解析より、引張強度よりも破壊エネルギーの方が低減係数に及ぼす影響は大きいことが分かった。

参考文献：1) 東山ら：破壊特性を考慮した軽量コンクリート RC 床版の押抜きせん断耐荷力評価手法，コンクリート工学論文集，第 17 巻，第 2 号，pp. 45-54, 2006.，2) Hillerborg, A., Modeer, M., and Petersson, P.E. : Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements, Cement and Concrete Research, Vol.6, pp.773-782, 1976.，3) 前田ら：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式，土木学会論文報告集，第 348 号，pp.131-141, 1984.

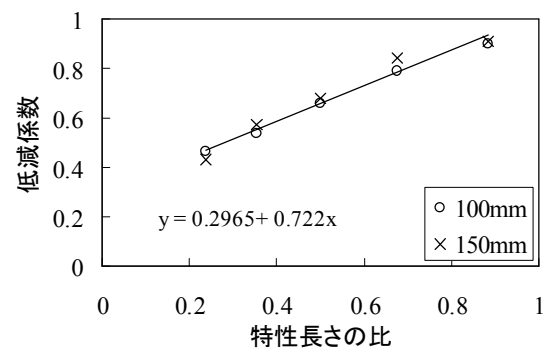


図-3 低減係数と特性長さの比の関係

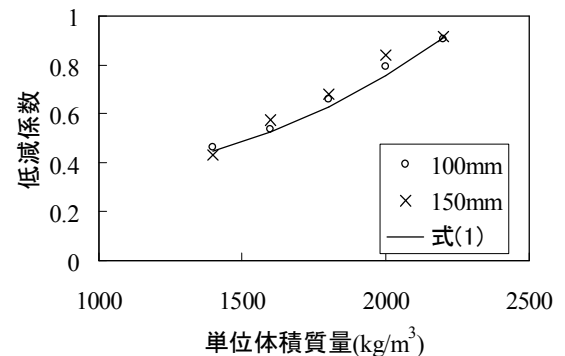


図-4 低減係数と単位体積質量の関係

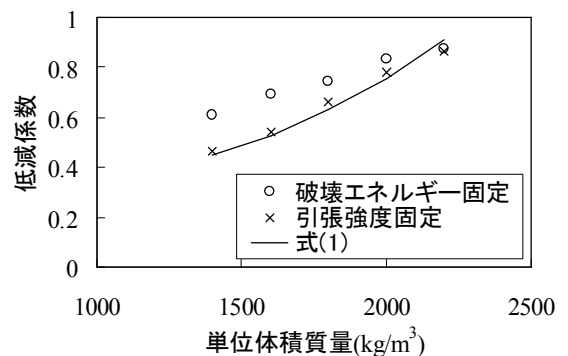


図-5 低減係数と単位体積質量の関係