

鉄筋コンクリート骨組への座屈拘束筋違の活用に関する研究 (その11 コッターの有限要素解析と耐力評価)

正会員	○曲 哲 *1	正会員	毎田悠承*2
同	吉敷祥一*3	同	前川利雄*4
同	岩淵一徳*5	同	仲宗根淳*4
同	坂田弘安*6	同	和田 章*7

鉄筋コンクリート構造	座屈拘束筋違	コッター
有限要素解析	せん断抵抗機構	Strut-and-Tie Model

1. 序

前報(その10)ではコッターの要素実験を行い、コッターのせん断耐力及び、コッター筋のひずみ度分布に関する基礎データを得た。本報(その11)ではコッターの有限要素解析の有効性を実験との比較から検証するとともに、既往のコッターの耐力評価式をもとに評価式を提案して、その妥当性を示す。

2. コッター接合部の3次元有限要素解析

2.1. 解析概要

(1) モデル化

解析には”FINAL Ver.11”を用いた。3次元解析とし、形状及び荷重の対称性を利用して試験体の半分をモデル化した。コンクリートには六面体要素を用い、鉄筋には線材要素を用いた。コンクリートと柱の主筋及び帯筋間の付着すべり特性は完全付着とした。一方、コッター筋とコンクリート間には付着すべりを表現するライン要素を用いた。境界条件は図1に示す通りとした。

(2) 材料構成則

【コンクリート】

コンクリートの $\sigma-\epsilon$ 関係及びひび割れ面のせん断伝達特性、ひび割れ後の圧縮劣化特性は前報(その9)の部分架構の有限要素解析と同様とした。3軸応力下の破壊条件は小阪ら¹⁾の係数を用いた4パラメータモデルにより決定した。

【鋼材】

柱主筋、帯筋、コッター筋、鋼板などの鋼材の $\sigma-\epsilon$ 関係は引張試験を基にバイリニア型にモデル化した。

【付着】

コッター筋とコンクリート間の付着すべり特性にはElmorsiらのモデル²⁾を用い、最大付着強度は文献3により求め、最大付着強度時のすべりは0.1mmを仮定した。

2.2. 解析結果と考察

【荷重-変形関係】

解析より得られた荷重-変形関係を実験結果と比較して図2に示す。いずれの試験体においても最大耐力、剛性ともに解析値と実験値は比較的良い対応を示している。

【コッター筋のひずみ度分布】

最大耐力時のコッター筋のひずみ度分布の解析値と実験値の比較を図3に示す。両者は良い対応を示し、ひずみ度分布は実験と同様の形状である。

【コッターの主応力度分布】

最大耐力時のコッターのコンクリートの主応力度分布を図4に示す。荷重点付近のコッターのコンクリートの最

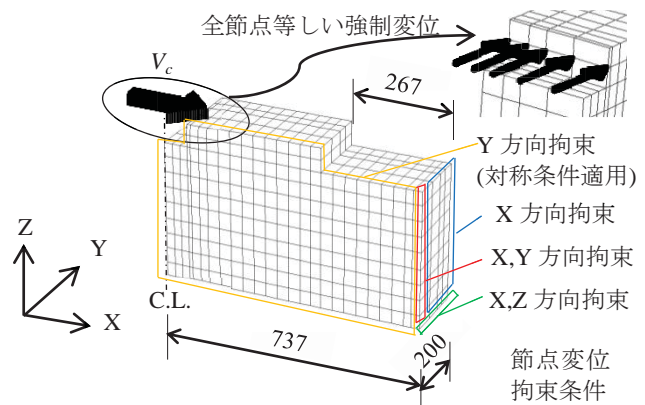


図1 解析モデル (S1) (単位: mm)

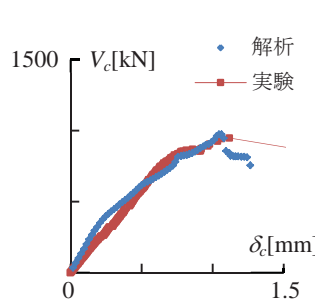


図2 荷重-変形関係 (S3)

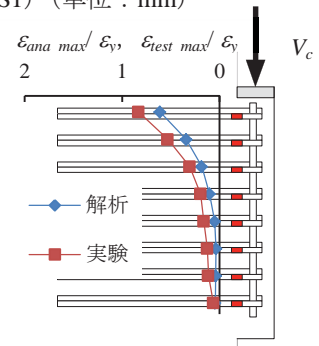


図3 コッター筋のひずみ度分布 (S4)

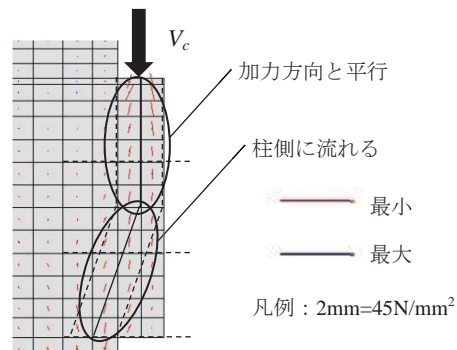


図4 コンクリートの主応力度分布 (S1)

小主応力度は加力方向と平行に作用し、載荷点から離れた位置のコッターのコンクリートの最小主応力度は柱側に流れていることがわかる。

3. 耐力評価

3.1. 耐力評価式の構築

本章ではコッターの耐力評価としてRussoらによって提案されたモデル⁴⁾に修正を加え、耐力評価式の妥当性を検証する。RCコッターの形状を模式的に図5(a)に示す。このようなコッターのせん断耐力を評価するために図5(b)に示すStrut-and-Tie Modelを用いる。

Russoらはコッターのせん断耐力評価式として2項からなる式を提案した。第1項は1組目のコッター筋を考慮したStrut-and-Tie System, 第2項は2組目以降のコッター筋の寄与分である。本報では、同一径のコッター筋がコッターに一樣に配筋されているため、第2項は削除するとともに、第1項の調整係数0.8を削除する。すなわち、コッターのせん断耐力評価式： V_u を式(1)のように表す。

$$V_u = \sigma_d b l \cos \theta \quad (1)$$

ここで、 σ_d ：式(2)で表されるStrutの有効圧縮強度、 h ：コッター全せい、 b ：コッターの幅、 θ ：Strutの角度である。これら全ての変数は、文献4で提案された以下の式により評価する。

$$\sigma_d = \begin{cases} \frac{0.9\sigma_B}{\sqrt{1+400\frac{\sigma_T}{E_c}}} & \text{for } \sigma_B < 42 \text{ [N/mm}^2\text{]} \\ \frac{5.8\sqrt{\sigma_B}}{\sqrt{1+400\frac{\sigma_T}{E_c}}} & \text{for } \sigma_B \geq 42 \text{ [N/mm}^2\text{]} \end{cases} \quad (2)$$

$$l = kd = (\sqrt{(n\rho_s)^2 + 2n\rho_s} - n\rho_s) \cdot d \quad (3)$$

$$\theta = 2\arctan \left(\frac{-1 + \sqrt{\left(\frac{a}{d}\right)^2 + \left(1 - \frac{k^2}{4}\right)}}{\frac{a}{d} - \frac{k}{2}} \right) \quad (4)$$

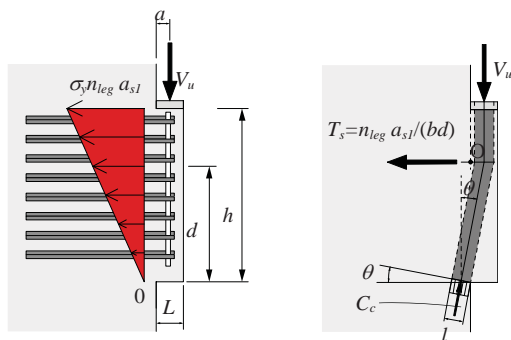


図5 コッターの耐荷機構

なお、 $n=E_s/E_c$ ：コッター筋とコンクリートのヤング係数比、 d ：コッターの有効せい、 ρ_s ：コッター筋によるせん断補強筋比である。

本報では d と ρ_s を決定する際、コッター筋の応力度分布は載荷端を降伏： σ_y 、反対側端部を0とする線形分布の合力を仮定する。実験及び解析から得たひずみ度分布や主応力度分布からも、この応力度分布は合理的であると言える。仮定したコッターの応力度分布から、 d と ρ_s は式(5)、(6)によって表せる。

$$d = (2/3)h \quad (5)$$

$$\rho_s = 0.5n_{leg}a_{s1}/(bd) \quad (6)$$

ここで、 n_{leg} ：コッター筋の組数、 a_{s1} ：コッター筋1組の断面積とする。

3.2. 実験値と耐力評価式の比較

実験値： $V_{u, test}$ と耐力評価式(式(1))による計算値： $V_{u, cal}$ の比較を図6に示す。図には前報(その2)に示した要素実験時のCシリーズ試験体の結果も併せて示している。計算値は定着長が小さいC5を除く全試験体において最大耐力を比較的精度よく算出できている。したがって定着長を十分確保すれば本評価式はコッターの最大耐力の評価に有効である。

4. 結

本報(その11)ではコッターの有限要素解析の有効性を実験との比較から検証するとともに、既往のコッターの耐力評価式を修正し、その妥当性を示した。

【参考文献】

- 1) 小阪義夫ほか：各種コンクリートの圧縮靱性の統一評価(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp.189-190, 東海, 1985.10.
- 2) Elmsori, M., et al.: Modeling bond-slip deformations in reinforced concrete beam-column joints, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 27, pp.490-505, 2000
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999.8
- 4) Gaetano Russo, et al.: Reinforced Concrete Corbels-Shear Strength Model and Design Formula, ACI Structural Journal, Vol.103, No.1, Jan.-Feb. 2006

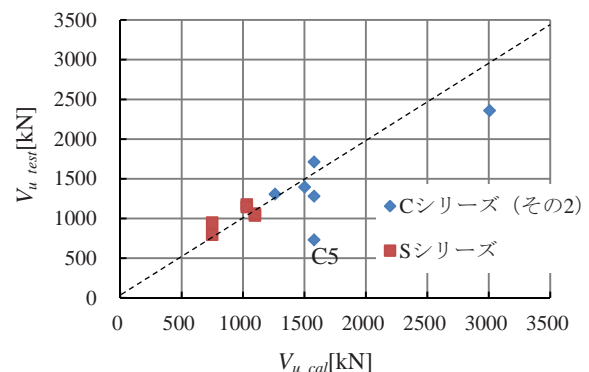


図6 実験値と評価式の比較

*1 東京工業大学 都市地震工学センター PD 研究員・Ph. D.
 *2 東京工業大学 日本学術振興会特別研究員 DC・修士(工学)
 *3 大阪工業大学 工学部建築学科 講師・博士(工学)
 *4 熊谷組 技術研究所
 *5 熊谷組 設計本部構造設計部
 *6 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・工学博士
 *7 東京工業大学 名誉教授・工学博士

Post-Doctoral Research Fellow, CUEE, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.
 JSPS Research Fellow, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.
 Lecturer, Dept. of Architecture, Osaka Institute of Technology, Dr. Eng.
 Technical Research & Development Institute, KUMAGAIGUMI Co., Ltd.
 Structural Design Dept., Design Division, KUMAGAIGUMI Co., Ltd.
 Prof., SERC, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
 Prof. Emeritus, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.