

送電用鉄塔の逆 T 字基礎の補強対策に関する模型実験 その 2 : COM3D 三次元解析

東電設計 (株) 正会員 ○任 明倩, 山本 翔大, 朽木 沙綾

香川大学 松島 学

(株) 四国総合研究所 新居 浩治 (現 (財) 四国産業・技術振興センター)

(株) 四国総合研究所 小野 修毅 (現 四国電力送配電 (株))

1. はじめに

近年, 既設送電用鉄塔基礎の長期使用に伴う経年劣化に対応すべく, 補強対策の研究が行われている. 特に, 無筋コンクリート床板は, 劣化が進行した場合に弱点となる恐れがあり, 効果的な補強対策の提案が求められている. 本研究は, 三次元非線形有限要素手法 COM3D^{1), 2)} を用いて逆 T 字基礎の引揚模型実験の結果³⁾ をシミュレーションして無筋コンクリート床板の破壊メカニズムと補強効果を確認した. また, 基礎の補強対策を実構造物へ適用する際の課題を明らかにした.

2. 解析モデル

COM3D は東京大学コンクリート研究室が開発した三次元非線形有限要素ツールで, 鉄筋コンクリート構造物の精度良い応答解析や損傷予測が可能である^{1), 2)}. 本研究は, 図 - 1 に示す著者らが行った模型実験³⁾ の曲げ補強シリーズの試験体 (SMS0, SMS1, SMS2) を解析した. 補強試験体は曲げ補強筋 D6 の本数が異なり, SMS1 は 4 本, SMS2 は 6 本である.

三次元要素モデルの代表として, 試験体 SMS2 を図 - 2 に示す. 500 mm × 500 mm × 150 mm の無筋床板の上に 40 mm の増し厚及び曲げ補強鉄筋を配置した試験体で, メッシュの節点数は 16716, 要素数は 14396 である. 主脚材やいかり材は Steel 要素, 無筋床板はプレーンコンクリート要素 (PC), スパイラル鉄筋, 杭鉄筋および曲げ補強鉄筋は鉄筋コンクリート要素 (RC) で表現した. せん断補強鉄筋や打継鉄筋は線要素 (LINE) を用い, 隣接コンクリート要素と節点を共有した. 既設床板と増し厚補強部も同様に節点を共有して完全付着の状態とした. 主脚材やいかり材の鋼材とコンクリートの接合部は BOND 要素を配置し, 付着を考慮しない剥離モデルで表現した. コンクリートの圧縮強度は $f_c = 21.0 \text{ N/mm}^2$, 鉄筋 (D6, D10) 降伏点は $f_y = 323.4 \text{ N/mm}^2$, 主脚材やいかり材降伏点は $f_y = 800 \text{ N/mm}^2$ とした. 杭鉄筋の底部を固定し, 主脚材の上端に上向きの強制変位で引揚荷重を与えた.

3. 解析結果

各ケースの解析と実験耐力の比較した結果を図 - 3 に示す. 補強なしの解析ケース SMS0 は, 解析耐力が実験の 77%, 曲げ補強したケース SMS1 と SMS2 は解析耐力が実験の 89% となった. 解析は, いかり材 (鋼材) とコンクリートの接合部の付着を無視したため, この付着応力の損失より解析耐力が模型実験より低下した

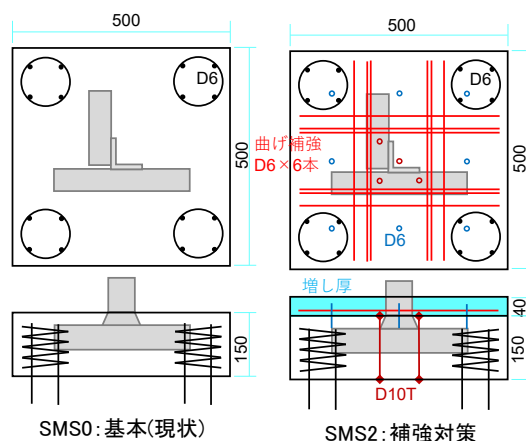
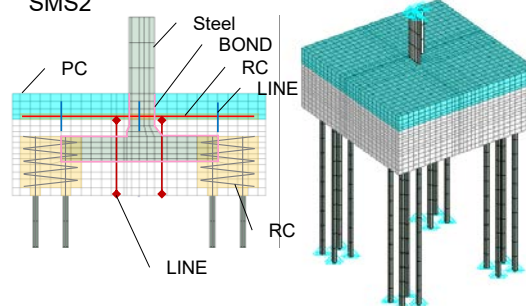
図 - 1 試験体図⁴⁾ (基本と曲げ補強代表ケース SMS2)

図 - 2 解析モデル全体図 (SMS2)

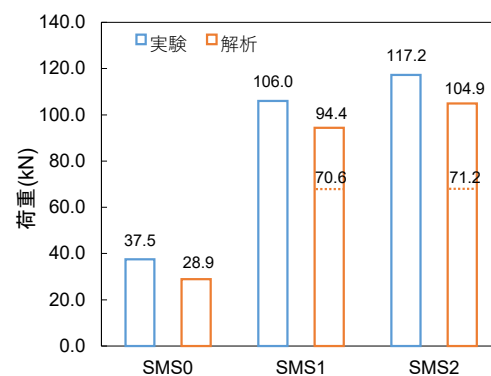


図 - 3 解析と実験耐力の比較

キーワード: 無筋床板, 送電用鉄塔, 逆 T 字型基礎, 非線形有限要素解析, 既設基礎の補強対策

連絡先: 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計株式会社 PS 土木部 TEL:03-6372-5034

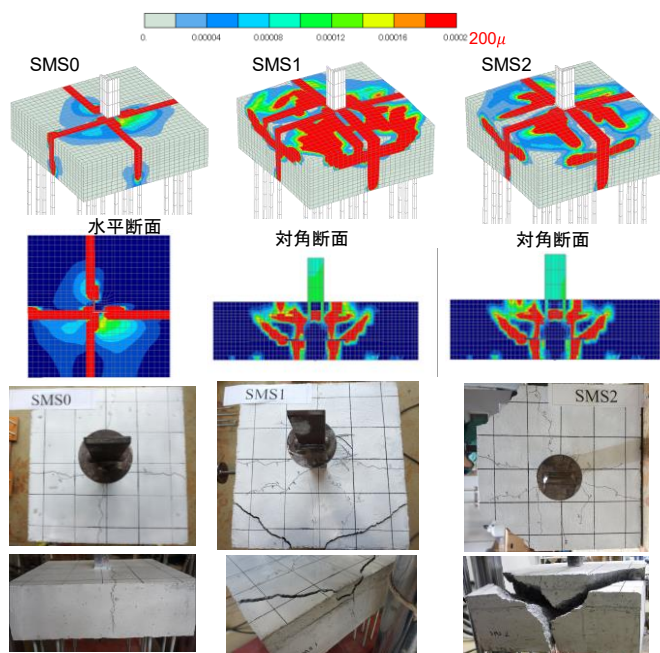


図 - 4 床板の主ひずみコンタと実験のひび割れの比較

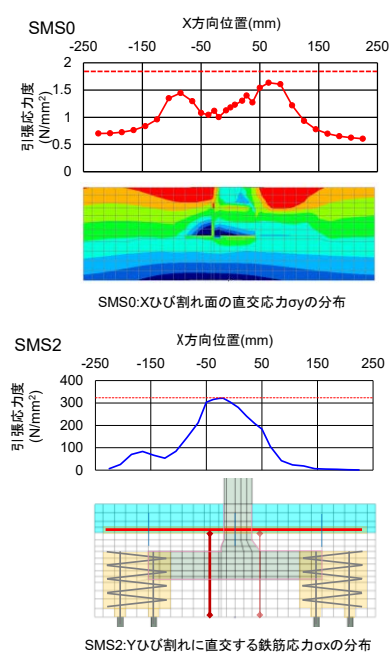


図 - 5 SMS0 と SMS2 の引張応力分布

と考えられる。そして、この影響は SMS0 でより顕著に表れた。補強ケースの SMS1 と SMS2 は、実験と同様に補強なしケースの約 3 倍の耐力に達し、補強の効果が大きいことが確認できた。解析は、曲げひび割れが発生する荷重を棒グラフ上に破線で併記した。補強なしの SMS0 は、無筋コンクリートのため曲げひび割れの発生荷重が最大荷重と一致している。40 cm の増し厚より曲げひび割れの発生荷重は 28.9kN から 70kN を超えるまで増加し、有効高さが大きくなった効果が表れている。

曲げ補強シリーズの最大荷重時における床板上面の主ひずみコンタ図と実験終了後のひび割れ写真の比較を図 - 4 に示す。主ひずみの集中領域は模型実験のひび割れ結果と一致し、二つの破壊モードが確認された。補強なしの SMS0 は十字の曲げひび割れが床板上面に生じて曲げ引張破壊した。一方、補強した SMS1 と SMS2 は、十字の曲げひび割れ発生後に周方向のせん断ひび割れが現れ、せん断破壊した。以上のように、補強試験体は最終的にせん断破壊したが、曲げ補強によって十分な耐力上昇が見込まれることが分かった。

図 - 5 は、ピーク荷重時における引張応力の分布を示す。補強なしの SMS0 はコンクリート上端の要素、曲げ補強の SMS2 は増し厚部に新設した鉄筋の応力度分布を表している。SMS0 に生じるコンクリートの引張応力は、ひび割れ面で同時に強度が発揮されず、十字の降伏線（ひび割れ面）内で中心部が大きく、外側が小さくなる進行的な応力分布を示し、耐力に寸法効果が存在すると考えられる。曲げ補強した SMS2 は、鉄筋のスパン中央で最も引張応力が作用し、降伏点を少し超えているが、それでも圧縮領域のコンクリートと連携して働けばまだ曲げ抵抗能力を保有していると考えられる。

4. まとめ

- (1) COM3D を用いた数値解析は無筋床板の曲げ補強対策した模型試験を高い精度で再現できた。
- (2) 主鉄筋を新設する増し厚対策は顕著な補強効果があると確認できたが、曲げ補強により破壊モードがせん断破壊に移行するためせん断補強筋の位置を改善する必要がある。

実規模への適用性は、無筋コンクリートの寸法効果が課題のため、引き続き検討していきたい。

謝辞：本論文の載荷実験は、四国電力送配電（株）のご協力のもと実施した。関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H. : Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, 2003.
- 2) Maekawa, K., Ishida, T. and Kishi, T. : Multi-scale Modeling of Structural Concrete, Taylor & Francis, London, 2008.
- 3) 朽木沙綾, 山本翔大, 任明倩, 松島学, 新居浩治, 小野修毅: 送電用鉄塔の逆 T 字型基礎の補強方法に関する模型実験 その 1 : 引揚実験, 2023 年投稿中