

床スラブの長期たわみに関する解析的研究

株式会社バウエンジニアリング 正会員 ○佐藤知明
 大阪市立大学大学院 正会員 渡部嗣道
 ソフトエボリューション株式会社 正会員 富田耕司

1. はじめに

近年, 社会資本構造物の長寿命化が命題となっている. 橋梁をはじめとする鉄筋コンクリート構造物は, 乾燥収縮などの自己ひずみやクリープひずみなどによって長期的に逐次劣化し, 過大なたわみやひび割れを生じることがある. そこで, 著者らはこのような実現象を想定し, 自己ひずみによりひび割れ劣化した構造物の性能評価を目指した解析ソフトの開発を行ってきた^{1), 2)}. 本論文では, 解析ソフトの適用性検証の一例として, 小柳ら³⁾による床スラブの長期たわみ実験に対する再現解析を試みた.

2. 対象構造物

(1) 解析対象

解析対象は, 小柳ら³⁾が実験で供した一方向固定支持スラブの試験体で, ロ字型をしている. 試験体形状は, スラブ厚 12 cm・有効せい 9 cm・幅 50 cm・スパン内法寸法 300 cm である. 鉄筋は SD295 で, 端部では複鉄筋, 上下主鉄筋とも 3-D10 (鉄筋比は全断面に対して 0.35%), 中央部では 3-D10 の単鉄筋となっている. 一方, コンクリートの圧縮強度は 18.9 N/mm², 弾性係数は 1.99×10^4 N/mm² である.

(2) 解析モデル

解析モデルのうちコンクリート部材を図-1 に示す. 試験体はロ字型であるが, 左右対称の形状であるため, 解析モデルはそのハーフモデルとした. 底版の下面については Z 方向 (高さ方向) を固定, 左版の左側面は X 方向 (軸方向) を固定した.

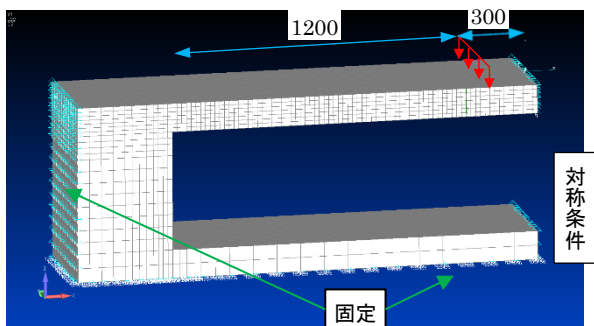


図-1 解析モデル (コンクリート)

(3) 荷重・乾燥収縮ひずみ・クリープ係数

小柳の実験によると, 積載荷重は中央点から左 30 cm の位置に載荷され, その大きさはスラブ端部の鉄筋応力度が設計荷重となるようにしている (ひび割れ時の鉄筋応力度: 196 N/mm²). また, 乾燥収縮ひずみおよびクリープ係数は, 小柳が自らの提案式の検証で用いた値とし, それぞれ 2200 日 (解析終了時) で 560×10^{-6} と 3.53 とした. ただし, その履歴は土木学会「コンクリート標準示方書 (2012)」に準拠した. クリープ係数も同基準によった.

(4) 解析方法

スラブには自重と積載荷重を作用させると同時に, 乾燥収縮ひずみを作用させた. また, 長期たわみ性状を評価するために逐次積分法 (Step by step 法) によってクリープ解析を行うとともに, ひび割れ解析のために弾塑性解析を行った.

また, 鉄筋とコンクリートとの接合要素については付着すべりが生じるモデル⁴⁾とするとともに, 付着クリープを考慮するため付着応力-すべり関係の剛性を低下させた. 長期的な継続引張力による付着クリープについては, 小柳³⁾や大野⁵⁾らの研究を参考に, 基本式よりも付着剛性を 0.75 倍に低減することによって簡易的に作用させた. なお, 鉄筋は, バイリニア型の完全弾塑性とした.

なお, 本検討では上記の弾塑性解析のほか, 基本的な性能把握のため, 逐次積分法によるクリープ解析を伴う弾性解析も行った.

3. 結果と考察

(1) コンクリートの変形

図-2 に, 弾塑性解析モデルにおける長期的な変形と塑性ひずみ (ひび割れひずみ) のコンター図を示す. スラブ端部上面と中央部下面にひび割れが生じ, 経年とともにその大きさも大きくなり, ひび割れの箇所も増えていることが分かる. これに伴ってスラブ中央部のたわみも増大している.

キーワード 鉄筋コンクリート構造, ひび割れ, 乾燥収縮, FEM

連絡先 〒540-0031 大阪府中央区北浜東 4-33 北浜ネクスビル 26F TEL06-4791-2880

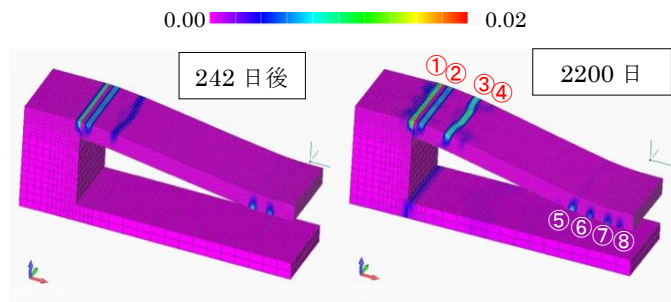


図-2 塑性ひずみの変化

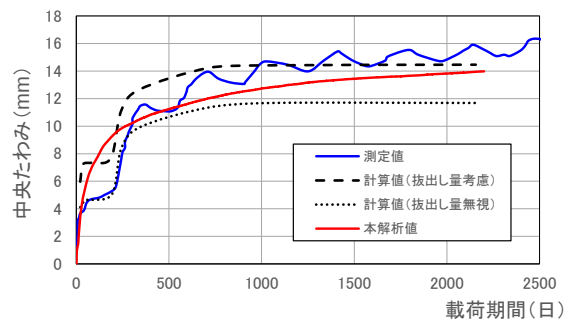


図-3 たわみ測定値

(2) スラブ中央たわみ

図-3 に荷重約 2200 日間のスパン中央たわみの経時変化を示す。図中の計算値は小柳が提案した算定式である。

実験結果と比較すると、弾塑性解析モデルのたわみ曲線は、実験値に比べ 10 % 程度小さな値であったが、測定値の下限値とほぼ近い値を示した。

また、小柳³⁾の報告によると、長期たわみは 0.85 mm と算定されている弾性たわみの 16～19 倍となっていた。一方、本解析による弾性解析のたわみは 0.7 mm で、弾塑性解析による長期たわみは 14 mm 程度であり、その比は 20 倍程度であることから、実験値に対して概ね整合性のある結果となった。

(3) ひび割れ幅

図-4 にひび割れ幅の経時変化を示す。なお、各着目点①～⑧は図-2(右) 2200 日結果に示すひび割れの結果である。荷重直後にスラブ端部上面とスパン中央部下面で生じた 2 本程度のひび割れは、その後、乾燥収縮が進行し 4 本に増加し、その他の箇所に新たなひび割れは生じなかった。この結果、スラブ端部上面では最も大きなひび割れとなり 0.44 mm、スラブ中央下面では 0.33 mm というひび割れ幅となった。

一方、小柳らの実験では、ひび割れ幅は端部上面で 0.2～0.6 mm 程度、中央下面で 0.2 mm 程度であったと報告されている。このことから、本解析によっても概ねひび割れ幅を推定できるものと判断される。また、ひび割れ本数は、小柳の実験では中央部下面、端部上面ともに荷重初期に 2～3 本発生し、その後多少増加したとの報告であったことから、ひび割れ本数についてもほぼ同様な結果を得ることができた。

4. まとめ

本解析によって以下の知見を得た。

- 1) 本解析によるひび割れ発生シミュレーションでは、スラブ端部上面と中央部下面に複数のひび割れ

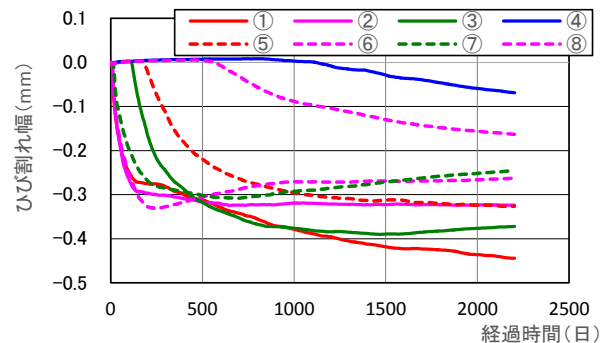


図-4 ひび割れ幅の進展

が発生する結果が得られ、実験結果と同様なひび割れ性状が見られた。

- 2) たわみとその経時変化、弾性たわみに対する比、ひび割れ幅、ひび割れ本数について、解析値は実験結果とほぼ同じ値を示した。

<参考文献>

- 1) 渡部嗣道, 張 殿宇, 富田耕司: 鉄筋コンクリート構造物のフルモデルによる乾燥収縮ひび割れ解, コンクリート年次論文報告集, Vol.37 No.2, pp. 85-90, 2015
- 2) 大阪市立大学・ソフトエボリューション社製「Soft OCU (FEM SOFTWARE ORIENTED TO CREEP AND ELASTO-PLASTIC ANALYSIS FOR ULTIMATE PROPERTIES OF CONCRETE STRUCTURES)」, 2015
- 3) 武田, 高橋, 小柳: 床スラブの長期たわみに関する研究, コンクリート工学, Vol.21, 115-124, 1983
- 4) 澤部, 上田, 中村, 国枝: セン断補強筋に定着不良が生じたRC はりのせん断破壊挙動解析, 土木学会論文集, Vol.62, No.2, pp.441-461, 2006.6
- 5) 大野義照, 李 振宝, 鈴木計夫: 持続荷重下における異形鉄筋とコンクリート間の付着応力～すべり関係, 日本建築学会構造系論文報告集, No.459, pp.111-120

<謝辞>

本論文は、2017 年度大阪市立大学生生活科学部卒業生の山本怜奈（現・大林組）の多大な協力を得た。ここに謝意を述べる。