

実際に使用されてきた地中構造物の載荷実験に基づく地震時耐力・変形性能に関する研究 その2 FEM解析による非線形挙動の検討

佐藤工業 正会員 荒添正棋, 正会員 秋山伸一
中部電力 正会員 仲村治朗, 正会員 橘 泰久
シーテック 正会員 恒川和久

1. はじめに

鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能を評価する上で、鉄筋降伏の計測は重要な問題である。ところで、著者らがこれまでにに行った実物の地中既設構造物を用いた載荷実験¹⁾では、試験体への損傷の懸念から、鉄筋ひずみの計測が困難であるため、鉄筋降伏が確認されていない。そこで、既設構造物を模擬した試験体を新たに製作し、鉄筋ひずみを計測するための載荷実験も行っている²⁾。ここでは、非線形 FEM 解析を用いて既設構造物と新設試験体による載荷実験のシミュレーションを行い、既設構造物で計測されなかった鉄筋降伏を推定し、非線形挙動について検討する。

2. 解析の概要

載荷実験のシミュレーションには鉄筋コンクリートの非線形 FEM 解析コード³⁾を用いる。載荷実験に用いた試験体の構造を図-1 に示し、物性値を表-1 に示す。これらの条件に基づいて作成した解析モデルを図-2 に示す。解析モデルには分散ひび割れモデルによる鉄筋コンクリート要素を用いる。

載荷実験と同じ条件の基で解析を行うため、モデルの底面を固定し、頂版には等分布の上載荷重を載荷する。一方、載荷実験では頂版両端部に設置されたアクチュエーター 2 台から水平方向に圧縮力を交互に加えた。これに対して、解析では簡便さを図り、頂版中央で左右に強制変位を与える。

3. 解析結果

まず、新設試験体による載荷実験のシミュレーション結果のうち、頂版中央における荷重と変位の関係を図-3 に示す。図中の丸印は鉄筋の降伏点を示す。また、A~H は解析による鉄筋の降伏位置、a~h は実験で計測された鉄筋の降伏位置を示す。水平変位 37mm(部材変形角 1/50rad.)のサイクルまでの解析結果は、各サイクルのピークや履歴曲線の形状についても実験結果に良く一致している。

一方、鉄筋の降伏位置と降伏変位は解析と実験で異なるものも見られるが、全体的に解析で得られる鉄筋の降伏点は実験結果に良く対応している。この解析による水平変位 18.5mm(1/100rad.)での変位分布を図-4 に示す。左右の側壁では水平変位の分布を、頂版では鉛直変位の分布を示す。図-4 より、水平変位と鉛直変位の双方とも解析結果は実験結果に良く一致している。特に、載荷実験では側壁下部で始まる部材変形の基点位置が左右で異なるが、解析ではこれを忠実に再現している点に注目した

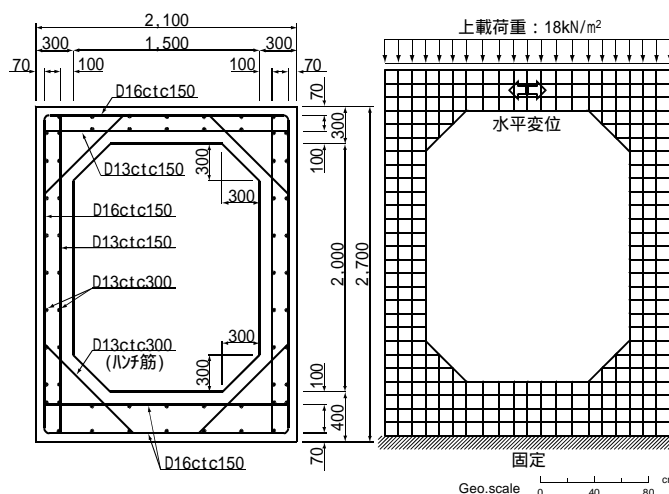


図-1 試験体の構造

図-2 解析モデル

表-1 試験体の物性値

	既設構造物			新設試験体
	頂版	側壁	底板	
コンクリート				
圧縮強度(N/m ²)	26.4	36.4	27.0	28.1
引張強度(N/m ²)	2.57	3.02	2.33	2.36
最大圧縮ひずみ(%)	0.175			0.200
ポアソン比	0.2			
単位体積重量(kN/m ³)	23.4			21.9
鉄筋				
	D13	D16	D13	D16
弾性係数(kN/mm ²)	187.3	168.9	166.0	170.2
降伏強度(N/mm ²)	381.9	379.3	384.8	353.2

キーワード：既設地中構造物、載荷実験、耐震設計、非線形挙動、FEM 解析

佐藤工業(株)中央技術研究所 〒103-8639 中央区日本橋本町 4-12-20, TEL.03-5823-2352, FAX.03-5823-2358

中部電力(株)土木建築部 〒461-8680 名古屋市東区東新町 1 番地, TEL.052-973-2254, FAX.052-973-3173

(株)シーテック 土木建築本部 〒455-0054 名古屋市港区遠若町 3-7-1, TEL.052-651-4092, FAX.052-651-2349

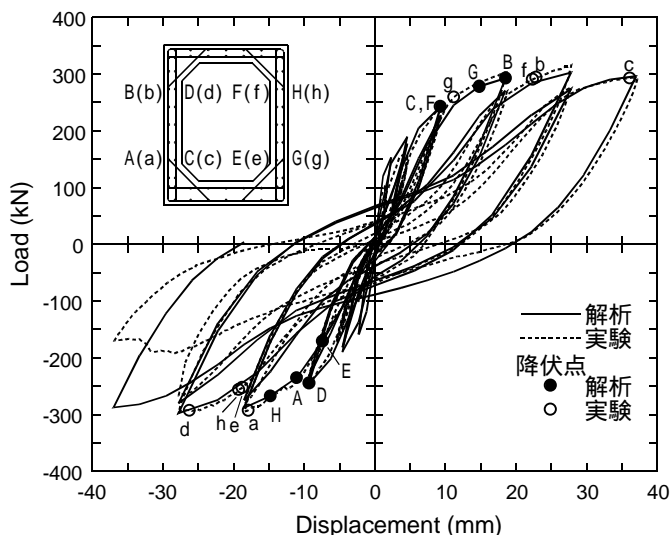


図-3 新設試験体の荷重・変位曲線

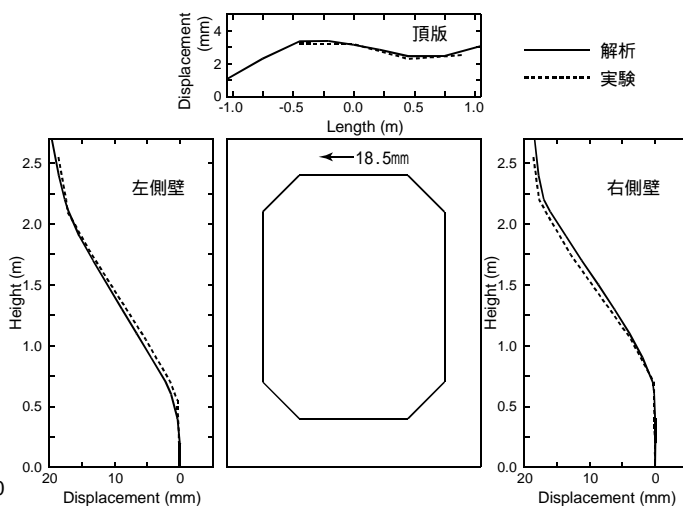


図-4 新設試験体の変位分布

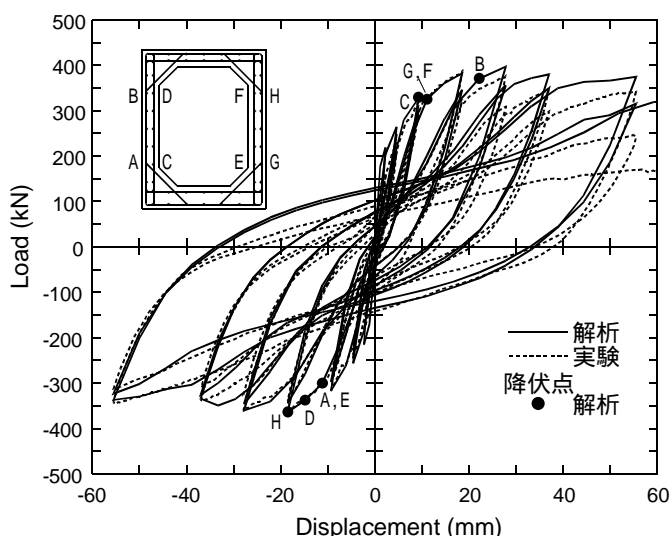


図-5 既設構造物の荷重・変位曲線

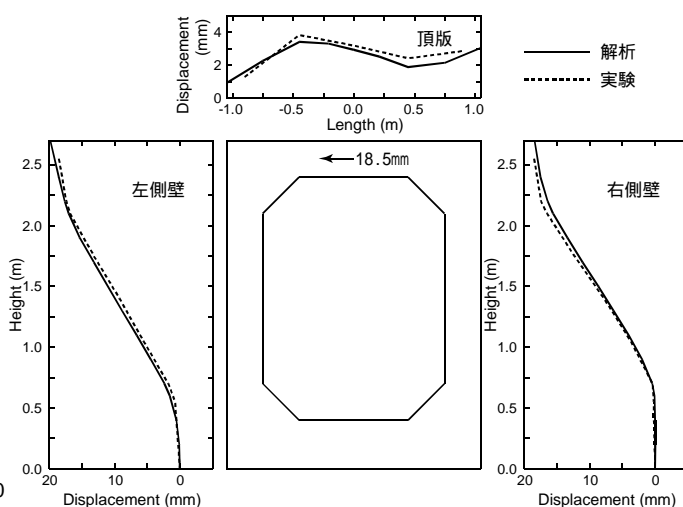


図-6 既設構造物の変位分布

い。以上により、非線形 FEM 解析は載荷実験による構造物の挙動を精度良く再現していると言える。

つぎに、上記の非線形 FEM 解析による既設構造物の載荷実験シミュレーション結果を見る。図-5 に示す頂版中央の荷重と変位の関係によると、水平変位 37mm(1/50rad.)のサイクルまで解析結果は実験結果に良く一致している。また、図-6 に示す水平変位 18.5mm(1/100rad.)における変位分布も解析結果は実験結果に一致している。したがって、この解析は既設構造物の載荷実験も良好に再現しており、ここから推定される鉄筋の降伏点は信頼性が高いと考えられる。さて、図-5 に示される鉄筋降伏は水平変位 10mm~20mm(約 1/200rad. ~ 1/100rad.)で発生している。既設構造物の最大変位は 60mm 以上¹⁾であるから、この構造物は十分な靱性を有している。さらに、この構造物が埋設されていた地点における構造物頂底版間の地盤の最大応答相対変位はレベル 2 地震動クラスでも 1.7mm 程度である²⁾。したがって、この構造物は耐震性能も十分に確保している。

4. まとめ

ここで行った非線形 FEM 解析は実験用に製作された試験体のみならず、実構造物の挙動を再現している点に意義がある。本解析は載荷実験の結果を良好に再現することから、実験結果を補う上でも有用であると考えられる。最後に、本解析を実施するに当たり、貴重なご助言を頂きました東京大学前川宏一教授、ならびに電力中央研究所構造部金津努部長に感謝の意を表します。

-参考文献-

- 1) 橘・平松・秋山・荒添：実際に使用されてきた地中構造物の載荷実験，第 55 回土木学会年次講演会， -B141,2000.
- 2) 荒添・平松・秋山・橘：実際に使用されてきた地中構造物の変形性能に関する検討，第 55 回土木学会年次講演会， -B144,2000.
- 3) 岡村甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991.