

鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの限界変形性能に関する研究

ーその2ー はりモデルによる非線形解析

(財)電力中央研究所 正会員 ○ 松井 淳 石川博之 遠藤達巳
関西電力(株) 正会員 岡市明大

1.はじめに 筆者らは鉄筋コンクリート製(以下 RC)地中構造物の耐震性能照査法の確立を目標として、実験および数値解析の両面から実証的な研究を進めている。本研究は、前報⁽¹⁾で報告した静的載荷実験に対して、非線形はりモデルによる応答解析を実施し、この種の構造物の変形性能照査に対する本手法の適用性を検討した。

2.はりモデルの構成則 RC 部材を非線形はり要素でモデル化し、その復元力特性を軸力変動型トリニアモデルで表した(図-1)。ここで第1特性点は「曲げひび割れ発生」、第2特性点は「曲げ降伏」、第3特性点は「断面の終局(圧縮縁のコンクリートの圧壊)」にそれぞれ相当する。各特性点での曲げモーメントおよび曲率の値は、曲げと軸力を受けるはりの断面計算により定まる。ここで、コンクリートの応力-ひずみ曲線には、せん断補強筋による拘束効果を考慮した参考文献⁽²⁾で定める式を用いた。

隅角部近傍では、鉄筋の抜け出し現象が観察され、全体荷重-変位関係にも影響を及ぼすことが知られている。ここでは、分散ひび割れモデルを用いた非線形解析で用いられている考え方(接合要素)をはり要素に簡易に組み込んだ⁽³⁾。すなわち、図-2 および図-3 のようなモデル化によって抜け出しに相当する曲率の値を式(1)および(2)によって算出し、トリニアモデルの第2特性点における曲率の値を修正するものである。第3特性点については、鉄筋の抜け出しの影響が小さいと考え、ここでは考慮していない。

$$Slip = \epsilon_s (2 + 3500\epsilon_s) \left(\frac{f_c}{20} \right)^{-2/3} D \quad (1)$$

$$\phi_s = \frac{\theta_s}{L} = \frac{Slip}{dL} \quad (2)$$

Slip : すべり量,
 ϵ_s : 鉄筋のひずみ量,
 f_c : コンクリートの圧縮強度,
 D : 鉄筋径,
 ϕ_s : 抜け出しに相当する曲率,
 L : はり要素長

また、コンクリートの乾燥収縮の影響については、使用したコンクリートの配合と養生条件から、コンクリート標準示方書で定める収縮ひずみの算定式を用いてひずみ値を求め、断面計算時のひずみ分布に対して初期ひずみを与えることによって考慮した。さらに、コンクリートの一軸圧縮試験実施時における端面拘束の影響を考慮し、計測値を 10~20%低減した値を解析に用いた⁽⁴⁾。

キーワード: 地中構造物, 限界変形性能, 性能照査, 非線形はりモデル,

〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 Tel:0471-82-1181 Fax:0471-83-2962

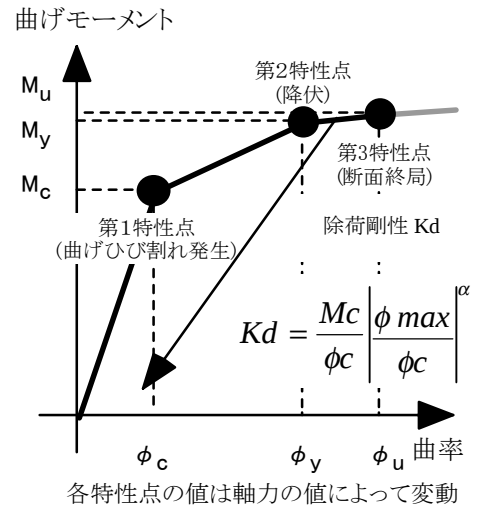


図-1 軸力変動型トリニアモデル

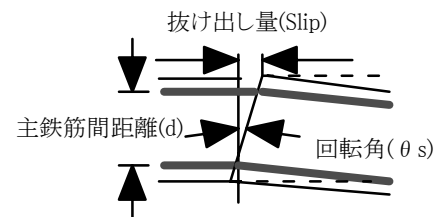


図-2 隅角部近傍での鉄筋の

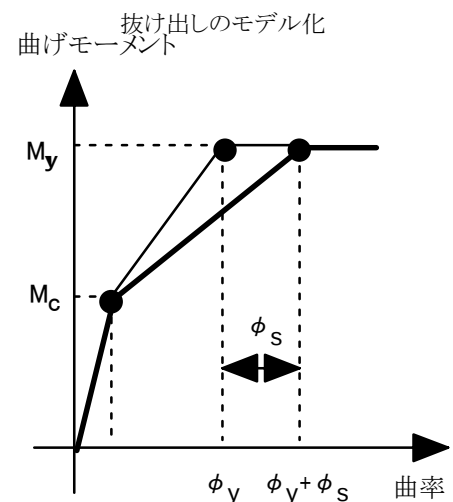


図-3 抜け出しを考慮したトリニアモデル

3.解析結果 解析は、土被り厚さ 20m 相当・曲げ破壊先行型の実験ケース S1⁽¹⁾に対する単調載荷解析を実施した。図-4 に全体荷重－頂底板間相対変位(以下、相対変位 δ) 曲線を示す。解析は、RCはりの曲げに関する非線形性のみを考慮した場合と、これに加えて隅角部近傍における鉄筋の抜け出し、コンクリートの乾燥収縮および圧縮試験時の端面拘束の影響を考慮した場合を併せて示している。曲げ変形以外の非線形性を考慮することにより、①相対変位 15mm 程度(層間変形角 1.2%程度)までについてはほぼ実験結果を模擬すること、②断面が降伏する時期が実験結果に近づくこと、③全ての隅角部が降伏した後は構造物全体の接線剛性がほぼ 0 に低下すること、が分かる。相対変位 15mm 以降についても荷重の値をやや過小に評価する結果にあるものの、前報⁽¹⁾で考察した変形に関する限界までを安全側に評価できることが示されている。

図-5 および図-6 には、構造物の損傷分布について、実験と解析結果(全ての非線形性を考慮した場合)を比較して示す。

図-6 中の番号は降伏した順序を、括弧内の数値は降伏した時の相対変位 δ の値を示す。降伏した部位については、その過程(降伏する順序)が再現されてはいないが、最終的な損傷状況については、ほぼ実験結果を再現している。一方、ひび割れの分布については、解析は実験に比べてひび割れがやや広い範囲で生じる結果にある。これは、要素分割の影響と共に、トリニアモデルにおいて第 2-3 特性点間の曲げ剛性をやや小さめに評価していることによるものと考えられ、その結果全体荷重－相対変位曲線上において、変位 15mm 以降で荷重をやや小さめに評価する原因と考えられる。しかし、本試験体は、地中構造物を想定したものであり、M7.0 程度の地震時に発生する地盤のせん断ひずみの最大値が通常 1.0%程度以内であることから、本報で定義したモデルの適用範囲は妥当であるといえる。

4.まとめ 本報で用いたモデルにより、層間変形角 1.0%程度までは、実験結果をほぼ再現でき、実構造物の耐震性能の照査に適用可能であることが示された。また、それ以降の変形状態においても、荷重をやや過小に評価することを除いて、良好に試験体の変形を良好に再現し、前報⁽¹⁾で考察した変形の限界状態までをやや安全側の立場で評価できることが示された。

謝辞:本研究は電力9社と日本原子力発電(株)による電力共通研究の一部として実施した。本研究の関係各位に謝意を表する次第である。

[参考文献]:(1)石川ら:鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの限界変形性能に関する研究 ―その1― 静的載荷実験とそのシミュレーション, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, 2001.9.

(2)(社)日本道路公団:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 丸善, 平成 8 年 12 月

(3)岡村, 前川:鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂, 1991.5.

(4)上追田, 前川, 岡村:コンクリートの一軸圧縮強度, 第 4 回コンクリート工学年次講演概要集, pp.177-180, 1982.

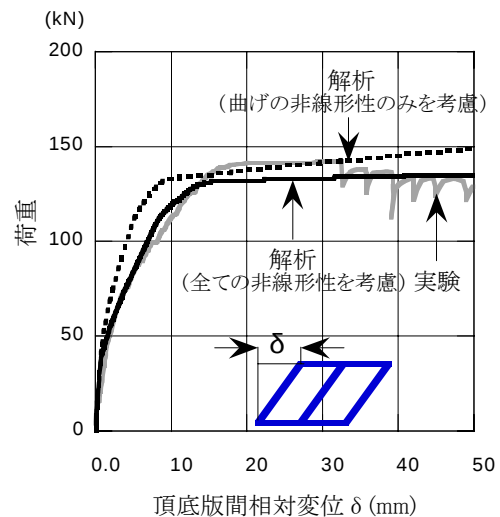
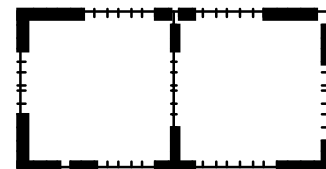
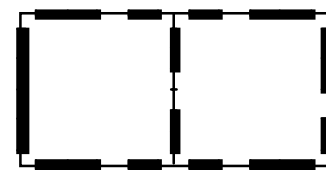


図-4 全体荷重－相対変位曲線

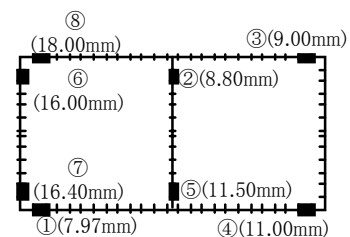


(a)実験

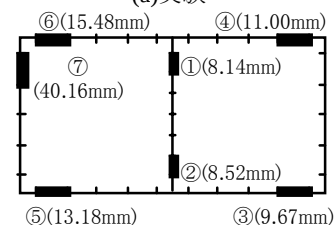


(b)解析

図-5 ひび割れ分布の比較



(a)実験



(b)解析

図-6 降伏した部位の分布の比較