RC 橋脚の地震時保有水平耐力照査に用いる材料の応カーひずみ関係に関する解析的研究

名古屋工業大学大学院 学生会員〇亀田好洋

1. はじめに

道路橋示方書(示方書)¹⁾では,耐震性能を照査する上で「地震時 保有水平耐力照査法(耐力照査法)により「耐力的な観点での鉄筋 コンクリート(RC)橋脚の塑性化の限界状態」までの耐荷性能を十 分に評価する必要がある.」としている.しかし,同書で定義される 耐力照査法の妥当性について検証した事例はあまり多くはない.本 研究では,実物大 RC橋脚への繰り返し曲げ載荷実験結果²⁾を基に, 鋼およびコンクリートの応力-ひずみ関係(構成関係)の組み合わ せを変化させることより,一定軸力下での一方向載荷解析を実施し た.解析結果と実験結果との比較・考察を通して,実験結果を精度 良く再現可能な構成関係の組み合わせについて検証した.



実験では、断面 2,400×2,400 mm (図-1参照),柱有効高さ 9,600 mm, せん断スパン比 4 を有する RC 橋脚を用いている.軸方向筋には D35

(SD345) を 74 本, 横拘束筋には D19(SD345) を用い, 横拘束筋量の少な い L1 供試体では間隔 s = 300 mm で, 横拘束筋量の多い L2 供試体では, 中間 帯鉄筋も含め間隔 s = 150 mm で配置している.

また載荷は、供試体寸法が大きいため、軸力は載荷していない.水平荷重 は、降伏変位 δ_y (δ_y :事前に算定された降伏荷重に、水平荷重が到達した ときの変位をいう)を基準として、それの整数倍の変位量を3サイクルずつ 載荷している.ここで、軸方向筋、横拘束筋およびコンクリートの材料定数 を**表**-1に示す.

3. 解析概要

本解析では,解析プログラムとして,有限要素解析 ^k. プログラム FEAP³)を用いた. 0.

3.1 解析モデル

本解析における断面および要素分割を図-2に示す. 断面分割については,軸方向筋の位置を考慮し801分 割とした.なお,図中の黒色要素は「軸方向筋」を示 す.一方,要素分割については,柱基部より高さ4,000 mm までの区間で1要素長100 mm により,4,000 mm 以上は1要素長500 mm (最上部要素のみ:600 mm) によりそれぞ れ分割した.

3.2 材料の構成関係

本解析では,軸方向筋(鋼材)要素に対して,鉄筋の引張試験か -ら求めた「ひずみ硬化型」に加え,降伏後,応力が一定となる「弾 -完全塑性型」の構成関係を採用した.また,横拘束筋による拘束効 -

果を反映させたコンクリートの構成関係として、「示方書に掲載されているモデル(道路橋モデル¹⁾)」ならびに水 野らが定式化した「最適限界ひずみの式⁴⁾を用いたモデル(ひずみ軟化型モデル)」による構成関係を採用した(図 -3参照).ここで、各モデルにおける横拘束筋による拘束効果を反映させた諸数の変化を表-3にそれぞれ示す.

4. 解析結果および考察

本章では, RC 橋脚の繰り返し載荷実験結果と解析結果との比較および考察を行う.ここでは,実験から得た繰り返し履歴曲線における「正(+)」側の包絡線(図-4および図-5中の破線)を用いることを付記する.なお,

キーワード:水平耐力照査,道路橋示方書,拘束効果,ひずみ軟化型モデル,有限要素解析 連絡先:〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200 中部大学工学部都市建設工学科水野研究室 TEL0568-51-1111代



供試体名		コンクリート	軸方向筋		横拘束筋	
		圧縮強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]
L	_1	33.5	424	639	344	528
L	2	32.6				









表-3 拘束効果に関する諸数の変化

12.15	道路構	新モデル	ひずみ軟化型モデル	
拍係	L1供試体	L2供試体	L1供試体	L2供試体
ピーク応力	34.0 MPa	34.9 MPa	33.5 MPa	32.6 MPa
σ_{cc}				
ピークひずみ	2229 με	3163 με	2387 με	2323 με
Cc' C.C				
終局・限界ひずみ ε' ε.	3820 με	12196 με	27010 με	42300 με
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				



本解析で用いる「道路橋モデル」は、RC 部材の終局状態までの再現性についても検証するため、応力がゼロとなるひずみ(図-2(a)に示す限界ひずみ ϵ_z を参照)まで直線的に軟化すると仮定した構成関係を採用した.

4.1 鋼材の構成関係が解析結果に与える影響

コンクリートの構成関係を「ひずみ軟化型」と固定し、鋼材の構成関係を「弾完全塑性型」と「ひずみ硬化型」 とに変化させた解析結果とL1供試体の実験結果との比較を図-4に示す.図より、変位100mm程度までの上昇域 での挙動は概ね一致した傾向を示しており、鋼材の構成関係が与える影響はほとんど無いものと考えられる.しか し、実験結果のピーク耐力以降の領域では、鋼材に「ひずみ硬化型」を適用した解析結果は、引き続き耐力が上昇 する傾向を示した.一方、鋼材に「弾完全塑性型」を適用した解析結果は、実験結果と概ね一致した挙動を呈する ことを確認した.よって、本解析結果の考察からは、鋼材の構成関係には「弾完全塑性型」を適用した方がポスト ピーク領域を含めた耐荷性能を精度良く評価できるものと考えられる.

4.2 コンクリートの構成関係が解析結果に与える影響

4.1 節での結果を基にして、鋼材の構成関係を「弾完全塑性型」と固定し、コンクリートの構成関係を「道路橋 モデル」と「ひずみ軟化型モデル」とに変化させた解析結果(実線)と実験結果(破線)との比較を図-5に示す. ここで、前者の構成関係の組み合わせは、示方書で規定される水平耐力照査法に基づくものであることを付記する.

鋼材の場合と同様, ピーク耐力近傍までの挙動に大きな差異は見られなかった.しかし, ポストピーク領域では, コンクリートに「道路橋モデル」を適用した解析結果 (灰色実線)よりも,「ひずみ軟化型」を適用した解析結果 (黒 色実線)の方が延性的な挙動を採ることが分かった.また,その挙動は,供試体の違い (L1 および L2 供試体) に よらず,実験結果と概ね一致する傾向を示した.ここで,**表-3**を参考として,コンクリートのピーク応力以降の 圧縮破壊エネルギーに着目すると,道路橋モデルにより算定される当該エネルギー値を「1」とした場合,ひずみ軟 化型モデルを適用した解析では,エネルギー量に換算して L1 供試体で 15 倍程度,L2 供試体でも4 倍程度の差があ ることが分かった.このことから,道路橋モデルを適用した解析では,横拘束筋による内部コンクリートへの拘束 効果を過小評価するものと推察される.また,その傾向は,横拘束筋量が少ないケースほど顕著であることが分か った.

5. まとめ

解析的検証より,水平耐力照査に適用する材料の構成関係には,鋼材に「弾完全塑性型」を,コンクリートに「ひ ずみ軟化型モデル」を用いることにより,実験結果を精度良く再現できることを確認した.また,「道路橋モデル」 を適用した解析結果は,横拘束筋による内部コンクリートへの拘束効果を過小評価する傾向があることが分かった. 謝辞:本研究を遂行するにあたり,平成22-24年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)22560488代表: 水野英二),中部大学特別研究費A(研究代表者:水野英二)の研究助成を得た.ここに記して,謝意を表す. 参考文献:

- 1) 日本道路協会編:道路橋示方書·同解説 [V 耐震設計編], 2002.3.
- 2) 星隈順一・運上茂樹・長屋和宏:鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす断面寸法の影響,土木学会論文集, No.669 / V - 50, pp.215 - 232, 2001.2.
- 3) Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method, Third Ed., (吉識雅夫,山田嘉昭監訳「マトリックス有限要素法」), 培風館, pp.672-796, 1984.
- 4) 水野英二・松村寿男・畑中重光:繰り返し載荷を受ける鉄筋コンクリート柱のポストピーク挙動解析, コンクリ ート工学論文集, Vol.13, No.3, pp.47 - 60, 2002.9.