

ハイブリッド実験による高耐震化芯材を用いたRC橋脚の性能評価

京都大学大学院工学研究科 学生員 曾我部直樹
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 家村 浩和
 京都大学大学院工学研究科 正員 高橋 良和

1. 概要

本研究では、二段階耐震設計法の考え方において、RC橋脚を合理的に設計することを目的として、高耐震化芯材を用いたRC橋脚¹⁾に着目した。そして、この橋脚が有する地震時性能について、ハイブリッド実験による性能評価を行った。

2. 高耐震化芯材を用いたRC橋脚について

本研究で対象とする橋脚は、高耐震化芯材を通常のRC橋脚断面内に、塑性ヒンジ区間を挟むように配置したものである。この橋脚では、高耐震化芯材が常に弾性挙動を示す事により、通常のRC橋脚では実現不可能である、安定した正の二次剛性を、橋脚の復元力特性に付与することができる。高耐震化芯材に求められる性能は、橋脚が大変形を起こしても芯材は弾性域にあることである。そこで、本橋脚構造では、高耐震化芯材の材料として通常の鉄筋よりも降伏強度が高いものを用い、さらに芯材のひずみを平滑化して、損傷の一局集中を防ぐためにコンクリートとの付着を切るアンボンドとしている。

本橋脚では、芯材を配置することにより剛性を付与し正の二次剛性を得ると共に、配置しない場合に比べ降伏耐力を増加させることが可能となる(図-1)。二次剛性の発現は、地震時における残留変位の低減に有効であると考えられる。例えば、道路橋示方書²⁾では、残留変位 δ_R の推定式として次のような式が用いられている。

$$\delta_R = c_R(\mu_R - 1)(1 - \gamma)\delta_y = c_R * \delta_{Rmax} \quad (1)$$

ここで、 μ_R は最大応答靱性率、 γ は二次剛性比、 δ_y は降伏変位、 c_R は残留変位補正係数である。この式を見ると、二次剛性比 γ が大きくなることが δ_{Rmax} の低減に有意である事が分かる。 δ_{Rmax} は、正負交番載荷実験における除荷時の変位と同義であり、芯材の配置によるその低減効果は、既往の研究¹⁾によっても確認されている。また、 c_R については、 $c_R = 0.6$ (二次剛性比0.0)、 $c_R = 0.35$ (二次剛性比0.05)と規定されており、二次剛性が存在する方が小さくなる傾向があることを示している。

さらに、エネルギー一定則が成立する場合、芯材の配置により最大耐力が増加すると共に降伏耐力も増加するため、配置しない場合に比べ地震時における最大応答についても低減できることが考えられる。

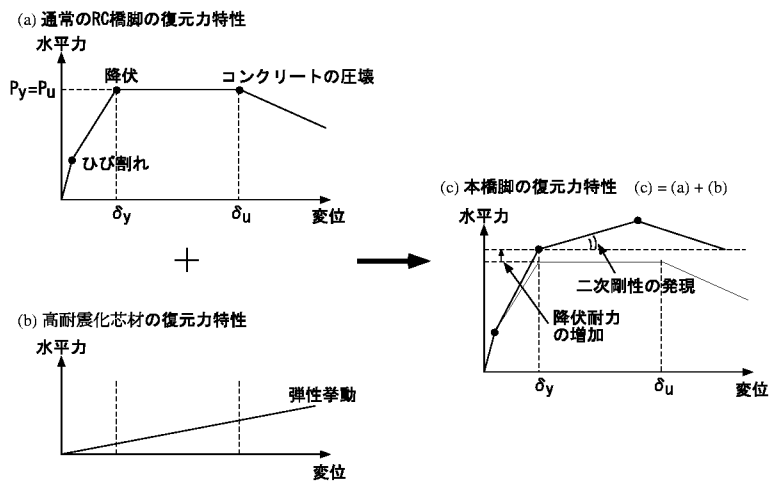


図-1 高耐震性 RC 橋脚の構造特性

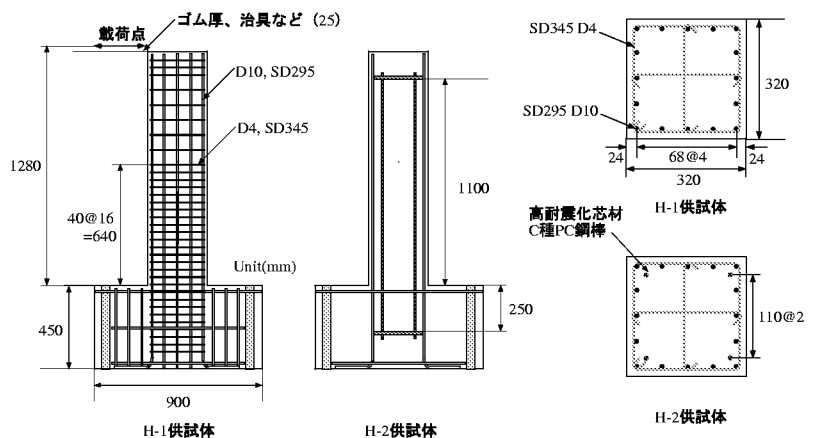


図-2 実験用供試体 (H-2 供試体では、主筋は表示していない)

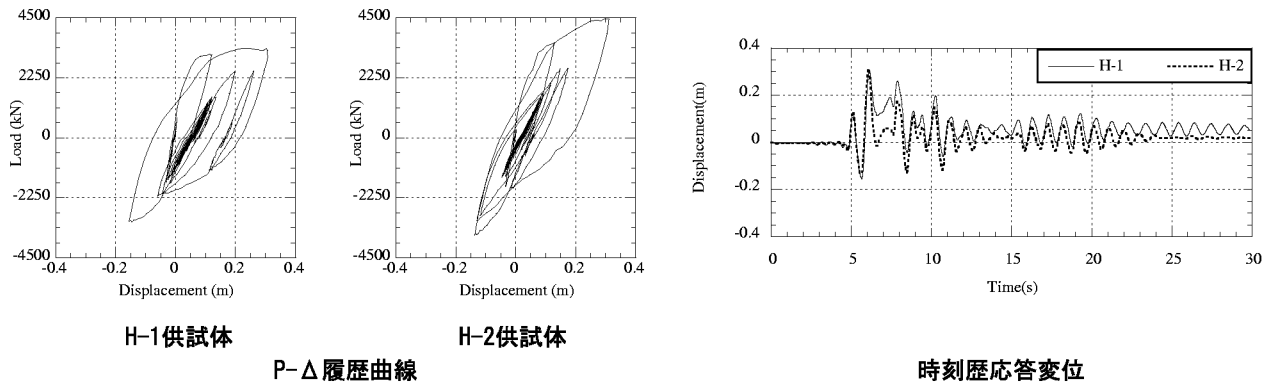


図-3 ハイブリッド実験結果

3. ハイブリッド実験概要

本研究では、相似則を考慮したハイブリッド実験を行った。用いた相似則は実構造物型解析手法³⁾である。この相似則では、実験により得られた供試体の復元力を相似率に従い実大型 RC 橋脚レベルに変換し、逐次、実大型 RC 橋脚について行う時刻歴応答解析へフィードバックしながら載荷実験及び数値解析を同時進行する。

実験で用いた RC 橋脚模型は、道路橋を想定して設計された実大型 RC 橋脚の縮小模型（相似率 7.5）である。また芯材については、供試体断面中心から 110mm の位置に $\phi 9.2$ の C 種 PC 鋼棒を 4 本、対称に配置している。芯材のアンボンド区間については、下定着点から上定着点の全区間に対し、アンボンド処理を施している（図-2）。

ハイブリッド実験で想定する一自由度系の質量は、上部工として鋼 I 桁を想定した 507.937ton、減衰比は RC 部材の内部減衰を考慮し 0.02 とした。また入力地震動については、道路橋示方書²⁾において時刻歴応答解析用地震動として規定されている地震動のうち、一種地盤を想定した Type II 地震動である神戸海洋気象台記録 NS 成分を用いた。

4. 実験結果と地震時性能評価

図-3 に、ハイブリッド実験結果（P- Δ 履歴曲線、時刻歴応答変位）を示す。

まず、履歴曲線を見ると H-2 供試体のそれに、H-1 供試体の実験結果には見られない二次剛性が現れている。また、降伏耐力も H-2 供試体の方が大きく、本研究で想定する芯材配置効果が H-2 供試体の構造特性に現れていることが分かる。

最大応答変位については、両者とも約 0.3m であり芯材配置による最大応答の低減効果は見られなかった。これは、想定した構造物の固有周期が、二次剛性により最大応答が低減する前提条件であるエネルギー一定則が成り立たない固有周期帯に属していたためであると考えられる。

これに対し、残留変位については、H-1 供試体（約 0.05m）に比べ H-2 供試体（約 0.015m）の方が低減している。最大応答変位が低減していないにもかかわらず残留変位が低減した理由としては、(1) 式における δ_{Rmax} と、 c_R の低減が考えられる。 δ_{Rmax} については、H-1 供試体で約 0.21m、H-2 供試体で約 0.18m という値を示しており、その低減が確認できる。また、 c_R についても、H-1 供試体で約 0.24、H-2 供試体で約 0.08 であり二次剛性が存在している方が低減している。

5. まとめ

1. 高耐震化芯材を配置した RC 橋脚が、配置していないものに比べ、優れた残留変位低減性能を有することをハイブリッド実験により確認した。
2. 最大応答変位が同じであっても、芯材配置による二次剛性を有することで、最大応答変位を経験した直後の除荷時の残留変位、及び残留変位補正係数が小さくなるため、両者の積で表される残留変位が低減する。

参考文献

- 1) 家村浩和・高橋良和・曾我部直樹・鶴飼正裕：「アンボンド高強度芯材を用いた RC 橋脚の高耐震性化に関する基礎的研究」、第 4 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp.433-438,2000 年 12 月
- 2) 日本道路協会：「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」、平成 8 年
- 3) 才塚邦宏・伊藤義人・木曾英滋・宇佐美勉：「相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験手法に関する考察」、土木学会論文集、No.507/I-30、pp179-190、1995 年 1 月