

繰り返し載荷実験に基づく R C 橋脚の 終局変位の評価

川島一彦¹・武村浩志²・運上茂樹³・星隈順一⁴

¹ フェロー会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

² 会員 工修 (株)ピーエス技術部(元、東京工業大学研究生) (〒170 東京都豊島区南大塚 3-20-6)

³ 会員 工博 建設省土木研究所 耐震技術研究センター 耐震研究室室長 (〒305 つくば市旭 1)

⁴ 会員 工博 建設省土木研究所 耐震技術研究センター 耐震研究室研究員 (同上)

平成8年道路橋示方書では、RC橋脚の終局変位の算定法が大幅に改定された。本報告は、建設省土木研究所及び東京工業大学で実施された20体のRC橋脚模型の繰り返し載荷実験結果を用いて、平成8年道路橋示方書に規定される終局変位の評価を行った結果を報告するものである。本解析の結果、平成8年道路橋示方書方式による終局変位は、おおむね被りコンクリートが剥落し始めるときの変位に相当することがわかった。

Key Words : Seismic design, Ductility Design Method, Ductility, Reinforced Concrete Piers, Design Code

1. まえがき

地震時保有水平耐力法に基づくRC橋脚の耐震設計では、終局変位をどのように設定するかが重要である。曲げ破壊先行型の橋脚について平成2年の道路橋示方書では、許容変位として「一般にコンクリートの剥離が生じ、最大耐力付近で安定していた水平耐力が低下し始める点」とし、この点は計算上「安全係数1.5に相当する変位」としている。これは、水平交番地震力の作用下で、コンクリートの剥離から、圧壊、さらには主鉄筋の破断に伴い耐力が急速に低下し始める一連の損傷過程の中で、許容変位がこうした急速な耐力低下を生じ始める前の変位であることを示している。また、平成2年の道路橋示方書に基づく水平荷重と水平変位の計算法によれば、計算上の終局変位は実験結果に基づけば主鉄筋が破断し始める変位に相当する。こうしたことから、安全係数1.5に相当する変位は上述したように「最大耐力付近で安定していた水平耐力が低下し始める点」と判断されたものである。ただし、これはあくまでも、帯鉄筋の横拘束効果を考慮していないコンクリートの応力度～ひずみ関係等、平成2年の道路橋示方書に規定された方法を用いた場合の結果である。

平成8年に道路橋示方書が抜本的に改訂されたが、

これに伴い従来の終局変位がどのようになり、新しい終局変位がどのような位置づけになるかを検討しておくことは、地震時保有水平耐力法に基づく耐震設計では、きわめて重要なことと考えられる。

このような点から、RC橋脚模型の動的載荷実験結果に基づいて、終局変位を検討したので、この結果を報告する。

2. 終局変位の算出

平成8年の改訂で、RC橋脚の耐震設計に関して改訂された項目は、以下の4点である。

(1) コンクリートの応力度～ひずみ関係に帯鉄筋による横拘束効果が取り入れられた¹⁾。

(2) コンクリートの終局ひずみを、関東地震による東京での地震動のように繰り返し回数の多いタイプⅠと兵庫県南部地震による神戸のように繰り返し回数の少ないタイプⅡで分け、タイプⅠではコンクリートが最大圧縮応力度 σ_{cc} に達するときのひずみ ε_{cc} を、タイプⅡではコンクリートの応力度が $0.8 \times \sigma_{cc}$ に達するときのひずみ ε_{cu} を、それぞれ終局変位とみなす。

(3) 塑性ヒンジ区間長を導入する。

(4) 初降伏と降伏が区別された。

図-1は、帯鉄筋比 ρ_s の関数として平成8年道路

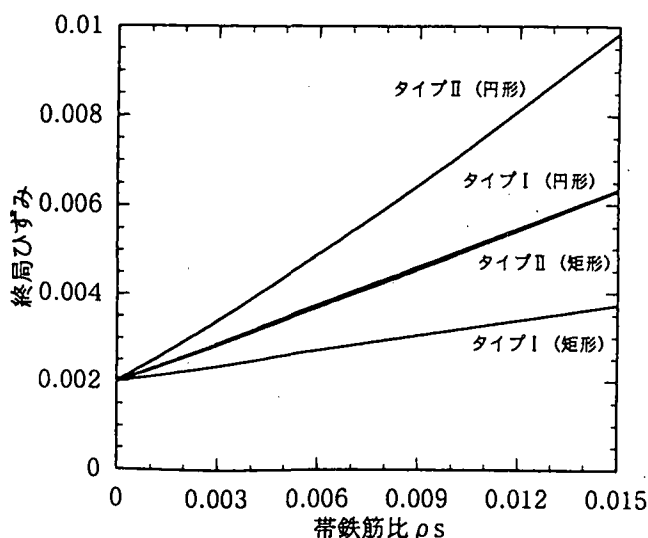


図-1 平成8年道路橋示方書による終局ひずみ

橋示方書（以下、これによる結果をケース2と呼ぶ）による終局ひずみを示したものである。平成2年道路橋示方書（以下、これによる結果をケース1と呼ぶ）では地震動のタイプや帯鉄筋比によらず終局ひずみは0.0035一定とされていた。図-1によれば、矩形断面に着目すれば、帯鉄筋比 ρ_s がタイプⅠでは1.3%以上、タイプⅡでは0.54%以上でなければ、0.0035の終局ひずみが確保されないことになる。

3. 解析に用いたRC橋脚模型実験

解析に用いたのは、建設省土木研究所、東京工業大学で実施された計20体のRC橋脚模型の正負交番載荷実験結果である。いずれも橋脚基部で曲げ破壊が先行した供試体である。ただし、一部の供試体をのぞき、載荷装置の制約で軸力は作用させていない。都市高速道路タイプの比較的コンクリート断面積を絞った橋脚を想定して、主鉄筋比は2.03~1.58とし、せん断支間比を2.5~5.4、帯鉄筋比 ρ_s を0.24~2.37といろいろ変化させると同時に、同一変位振幅における載荷繰返し回数を1、3、5、10回と変化させている。同一変位振幅における載荷繰返し回数を変化させると、橋脚のじん性率が変化することがわかっている²⁾。平成8年道路橋示方書では、載荷繰返し回数として、タイプⅠでは10回程度、タイプⅡでは1~3回程度を想定しているが、ここでは、同一変位振幅における載荷繰返し回数が10回の場合をタイプⅠ、1回~5回の場合をタイプⅡとみなすことにする。

4. 履歴曲線と計算上の終局変位との比較

(1) 帯鉄筋比の影響

せん断支間比が5.4の矩形断面橋脚で、帯鉄筋比 ρ_s だけを0.24%、0.47%、0.74%と変化させた場合の水平力~水平変位の包絡線を示すと、図-2の通りである。ここには、ケース1及び2の方法で求めた終局変位も比較のために示している。帯鉄筋比が増加するほど、実験値の終局変位は増大するが、当然、ケース1の終局変位はこうした特性を表せない。ケース2の終局変位としては、タイプⅠとタイプⅡの2種類の場合を示しているが、これらの供試体では同一変位振幅の載荷繰返し回数は10回であるから、タイプⅠに相当する場合がこれらの供試体の終局変位となる。帯鉄筋比 ρ_s が0.24%（P10）、0.47%（P11）の場合には、解析上の終局変位は水平力が最大値をとる付近からやや大きい変位に、また、帯鉄筋比 ρ_s が0.74%の場合（P13）には、被りコンクリートが剥離する付近の変位にそれぞれ相当する。

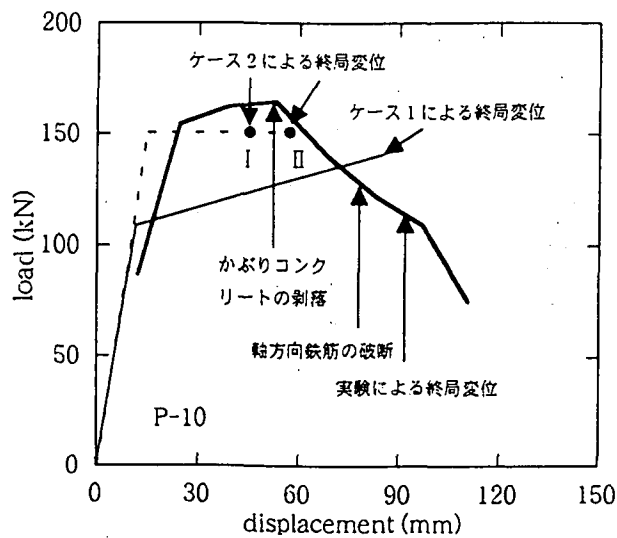
(2) 同一載荷変位における繰返し回数の影響

せん断支間比が5.4で、帯鉄筋比 ρ_s が0.24%で、同一載荷変位振幅における繰返し回数をそれぞれ3、5、10回と変化させた場合の解析結果を図-3に示す。ケース1の方法では帯鉄筋の効果を見込んでいないため、また、ケース2では帯鉄筋の影響を考慮しているがこれが3体とも同じであるため、ともに、解析上は同じ終局変位を与える。繰返し回数 n が5回以下をタイプⅡの載荷、10回をタイプⅠの載荷と見ると、 $n=3$ および5の場合（P19及び22）には計算上の終局変位はいずれもおおむね被りコンクリートが剥離し始める変位に相当している。 $n=10$ の場合（P10）には、上述したとおりであり、計算上の終局変位は水平力が最大値をとる付近からやや大きい変位に相当している。

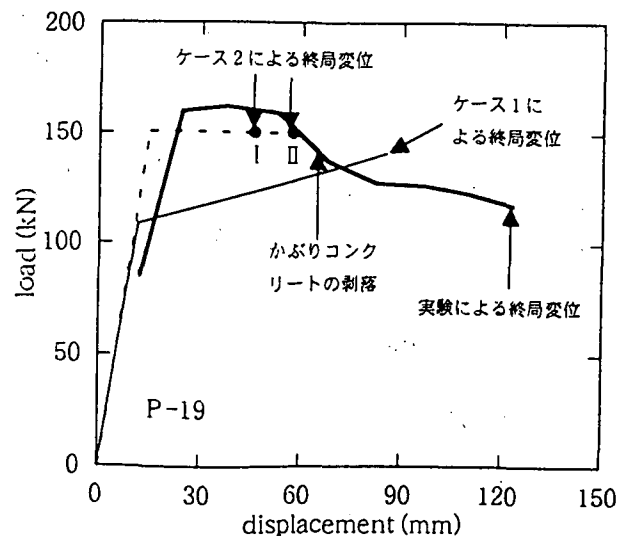
5. 終局変位の評価

以上に示したような実験結果に基づき、まず、ケース1の方法により求めた終局変位軸方向鉄筋が破断し始める時の変位との関係を示した結果が、図-4である。これによれば、計算上の終局変位は主鉄筋が破断し始めるときの変位と良い相関にある。

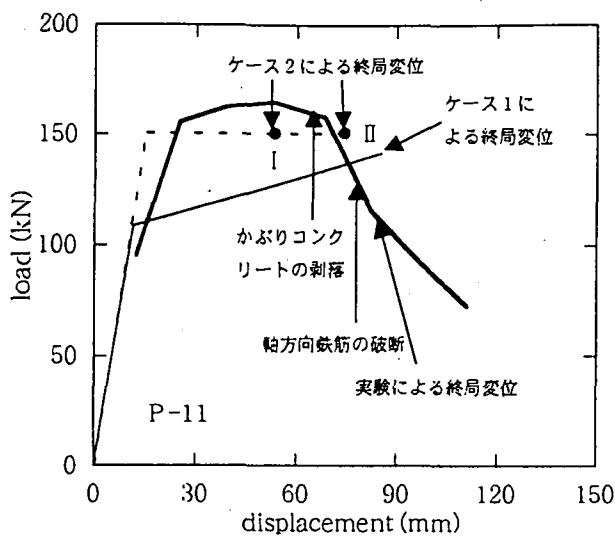
一方、ケース2の方法で求めた終局変位と被りコンクリートが剥離し始めるときの変位との関係を示した結果が図-5である。ケース2の方法では、地震力のタイプに応じて結果が異なるため、タイプⅠ



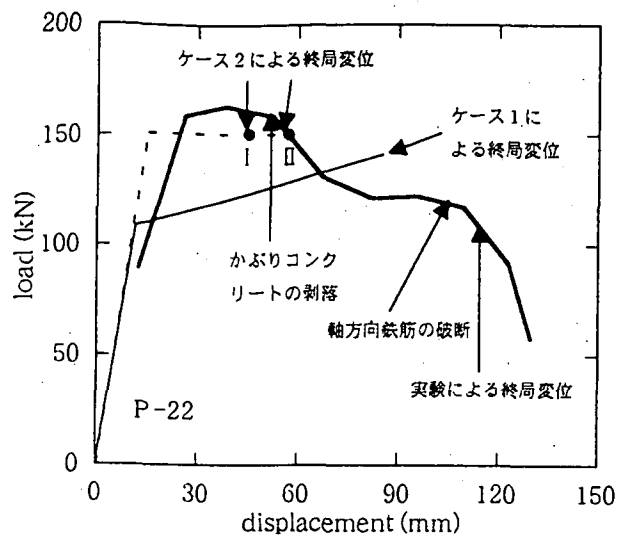
(a) P 10 ($\rho_s = 0.24\%$)



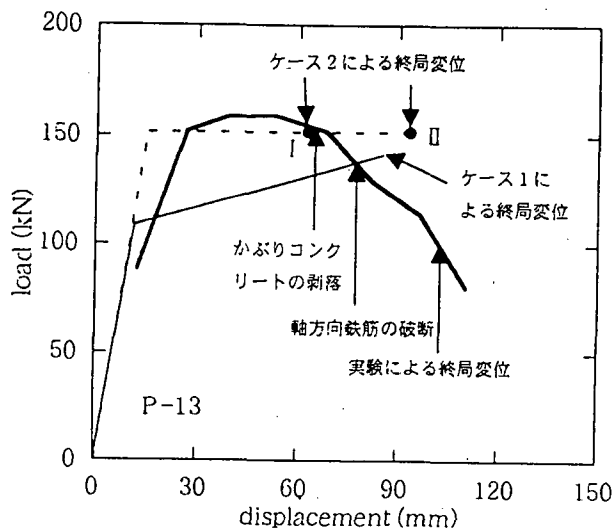
(a) P 19 ($n = 3$ 回)



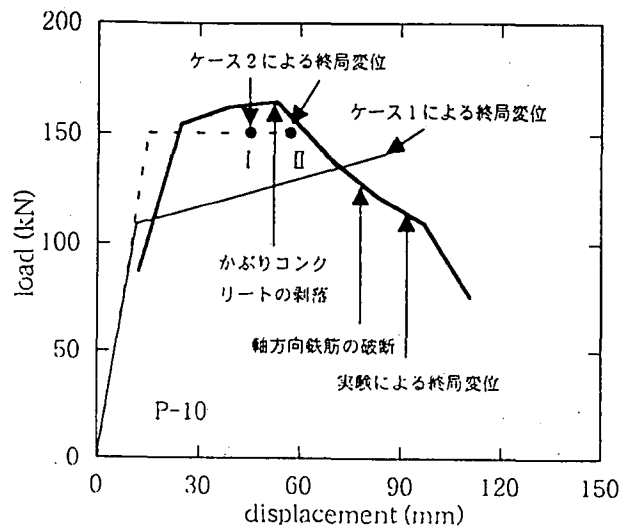
(b) P 11 ($\rho_s = 0.47\%$)



(b) P 22 ($n = 5$ 回)



(c) P 13 ($\rho_s = 0.74\%$)



(c) P 10 ($n = 10$ 回)

図-2 橋脚天端の水平力～水平変位の包絡線
(帯鉄筋比の影響, 矩形断面橋脚)

図-3 橋脚天端の水平力～水平変位の包絡線
せん断支間比=5.4の場合
(載荷繰返し回数の影響)

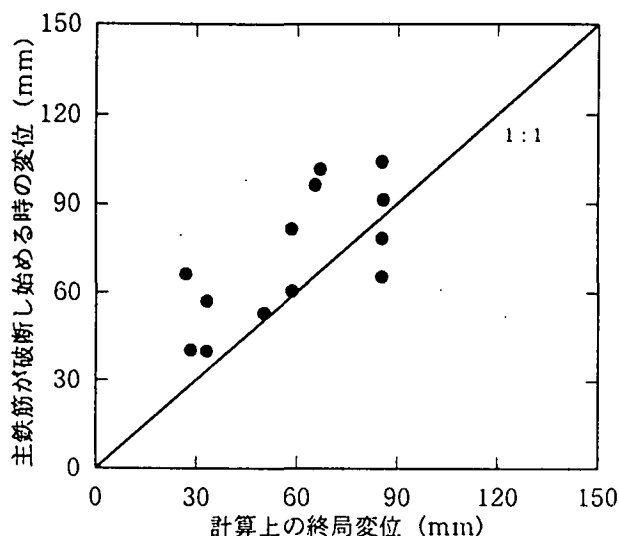


図-4 計算上の終局変位と軸方向鉄筋が破断し始める時の変位との関係

とタイプⅡに分けて結果を示している。これによれば、計算上の終局変位は被りコンクリートが剥離し始める時の変位と良い相関にある。被りコンクリートの剥離は、水平耐力が最初に低下し始める点に相当しており、この点を終局変位として、これに対して安全率を考慮して許容変位を求めることは、耐震設計上、耐力の急速な低下を引き起こす変位に対する余裕を持たせるという点で、安全側の配慮といえる。

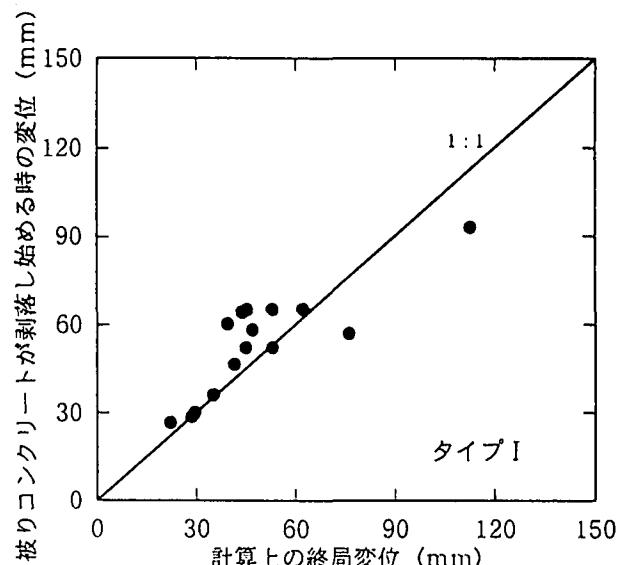
5. 結論

平成8年道路橋示方書方式で求めた終局変位がどのような損傷状況に相当するかを、平成2年道路橋示方書との比較によって、20体のRC橋脚模型の正負交番載荷実験に基づき検討した。本解析結果をまとめると、以下のようになる。

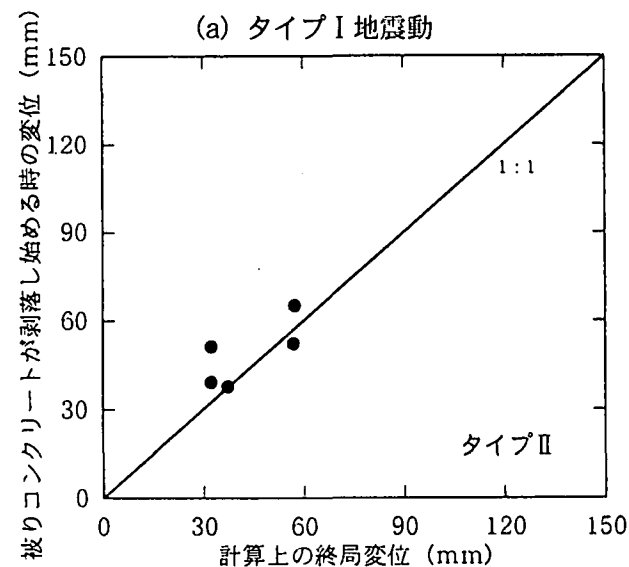
(1) 平成2年道路橋示方書方法(ケース1)で終局変位を求めると、終局変位はおおむね主鉄筋が破断し始める時の変位に相当する。

(2) 平成8年道路橋示方書方法(ケース2)で終局変位を求めると、終局変位はおおむね被りコンクリートが剥離し始める時の変位に相当する。

(3) ケース2の方がケース1よりも全体として計算上の終局変位が小さめに評価されるようになったのは、ケース2では帯鉄筋による横拘束効果を考慮しているためである。ケース1ではコンクリートの終局ひずみを帯鉄筋比によらず0.0035としているが、終局ひずみが0.0035に達するのは、矩形断面を例にとるとタイプⅠの載荷では $\rho_s = 1.3\%$ 程度、タイ



(a) タイプⅠ地震動



(b) タイプⅡ地震動

図-5 計算上の終局変位とかぶりコンクリートが剥離し始める時の変位との関係

プⅡの載荷では $\rho_s = 0.54\%$ 程度であり、実験供試体の帯鉄筋比が全体としてこれよりも小さかったことが、上記のような違いとなって現れてきたといえる。

参考文献

- 1) 星隈順一、川島一彦、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力度～ひずみ関係、土木学会論文集、No.520/V-28, pp.1-11, 1995.8
- 2) Kawashima, K. and Koyama, T. : Effect of Number of Loading Cycles on Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Bridge Pier Columns, Proc. JSCE, No. 392/I-9, pp. 205-213, 1988.4
- 3) 武村浩志、川島一彦、運上茂樹、星隈順一：繰り返し載荷実験によるRC橋脚の終局変位の評価、構造工学論文集、Vol.43A, pp. 869-880, 1997