

鉄筋コンクリート柱のエネルギー吸収容量の推定方法

清水建設（株）技術研究所 正会員 滝本和志

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下RC）構造物の耐震安全性を評価する場合、構造物が破壊（終局状態）に至るまでに吸収できるエネルギー量（エネルギー吸収容量）と、地震により構造物が吸収したエネルギー量との比較による損傷度評価が有効と考えられる。

本研究では、RC部材のエネルギー吸収容量をプッシュオーバー解析から推定することを目指して、まず、RC柱の正負交番載荷実験で得られた包絡線とエネルギー吸収容量の関係を求め、実験包絡線からエネルギー吸収容量を推定する方法について検討した。

2. 検討概要

RC橋脚の動的耐力および変形性能を明らかにするために建設省土木研究所（現 独立行政法人土木研究所）で行われた一連の正負交番載荷実験のうち、基部で曲げ破壊した16体のRC柱試験体^{1)～3)}について、実験で得られた包絡線とエネルギー吸収容量の関係について検討を行った。試験体一覧を表-1に示す。試験体断面は、P-1～P-6試験体が400×800mmの長方形断面、残りが500×500mmの正方形断面である。降伏荷重 P_y や降伏変位 δ_y は正負の平均値を用いた。なお、試験体番号は参照した文献の番号をそのまま使用している。ここでは、降伏荷重を下回らない最大の変位を終局変位 δ_u とし、1サイクルの履歴曲線で囲まれる面積を履歴吸収エネルギー、終局時までの履歴吸収エネルギーの総和をエネルギー吸収容量 W_e と定義した。また、試験体寸法の影響を排除するために、エネルギー吸収容量および包絡線の面積 A_e は、それぞれ $(P_y \times \delta_y)$ 、 $(P_y \times \delta_y / 2)$ で除すことで無次元化（ W_{en} 、 A_{en} ）した。

3. 実験包絡線とエネルギー吸収容量の関係

図-1にP-10試験体における終局までの包絡線の面積を示す。図-2に無次元化したエネルギー吸収容量 W_{en} と包絡線の面積 A_{en} の関係を示す。P-10、P-19、P-22試験体とP-17、P-20試験体は繰返し回数 n のみが異なる試験体である。包絡線の面積の増加にともないエネルギー吸収容量は増加の傾向にあるが、繰返し回数等の影響によるばらつきが大きく、包絡線の面積のみではエネルギー吸収容量の推定は難しいことがわかる。

繰返し回数の影響を考慮するために、横軸を包絡線の面積と繰返し回数の積で表したのが図-3である。じん性率 μ_e が

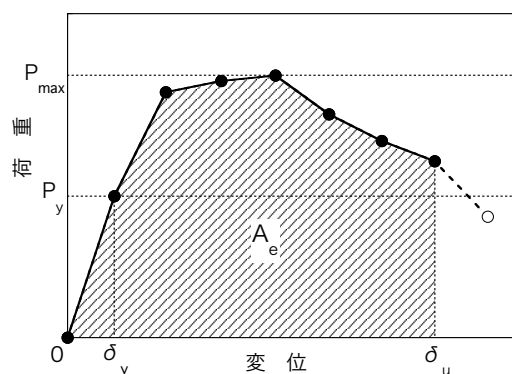


図-1 包絡線の面積

表-1 試験体一覧

試験体 番号	試験体 高さ h (mm)	繰返し 回数 n (回)	降伏荷重 P_y (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	じん性率 μ_e δ_u / δ_y	無次元化し た包絡線の 面積 A_{en}	無次元化し た実験値 W_{en}	無次元化し た推定値 W_{sn}	W_{sn} / W_{en}
P-1	2400	10	117.2	23.2	4.11	7.61	83.4	105.9	1.27
P-4	2400	10	132.3	20.6	2.94	5.10	59.0	65.9	1.12
P-6	2400	10	69.2	12.7	6.13	12.25	266.1	186.6	0.70
P-10	2500	10	87.4	12.4	7.84	22.69	313.2	325.8	1.04
P-11	2500	10	94.8	12.4	6.71	18.71	283.5	260.2	0.92
P-12	2500	10	112.2	13.9	5.98	14.20	210.8	202.1	0.96
P-13	2500	10	88.4	12.3	7.86	22.72	352.3	326.5	0.93
P-15	2500	10	90.1	12.3	9.01	25.42	380.2	383.4	1.01
P-16	2500	10	98.6	12.3	7.89	20.83	285.6	309.5	1.08
P-17	1750	10	149.9	7.8	7.15	17.34	234.2	257.9	1.10
P-19	2500	3	84.3	12.3	10.44	31.03	232.5	220.5	0.95
P-20	1750	3	157.5	7.8	8.18	19.62	119.3	140.0	1.17
P-22	2500	5	89.1	12.2	10.19	27.98	257.4	282.5	1.01
P-56	2500	10	126.9	14.6	3.99	8.76	108.8	113.8	1.05
P-57	2500	10	127.2	16.1	4.00	8.88	105.8	115.0	1.09
P-58	2500	10	175.4	20.1	3.00	5.31	55.6	68.6	1.23

キーワード：包絡線、エネルギー吸収容量、正負交番載荷実験、じん性率、繰返し回数

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-6962 FAX 03-3820-5959

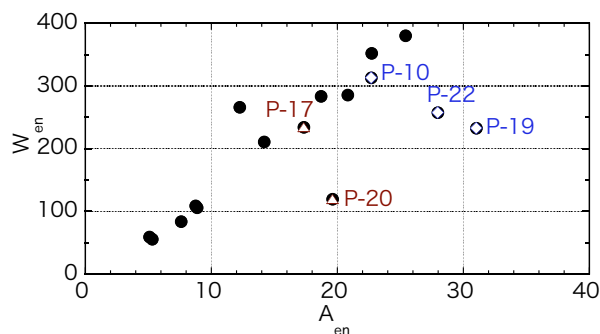


図-2 エネルギー吸収容量と包絡線の面積の関係

3～4と小さいP-56、P-57、P-58試験体が下方に、じん性率が10以上のP-19、P-22試験体が上方に分布していることから、じん性率に関しても考慮する必要があると考えられる。

じん性率の影響を考慮するために横軸を包絡線の面積、繰り返し回数、じん性率の3つの実験値の積で表したのが図-4である。図よりエネルギー吸収容量と3つの実験値の積の間に、以下に示す関係式を導くことができた。

$$W_{sn} = 2.59 \times (A_{en} \cdot n \cdot \mu_e)^{0.646} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 W_{sn} ：実験包絡線によるエネルギー吸収容量推定値

式(1)による推定値と実験値との関係を図-5に示す。ほとんどの試験体に対して $\pm 20\%$ の範囲内でエネルギー吸収容量が推定できていること、無次元化したエネルギー吸収容量の大小に関わらず推定精度がほぼ一定であることがわかる。実験値に対する推定値の比の平均は1.04、変動係数は13.2%と、精度のよい推定値を得ることができた。

式(1)の導出には用いていない実験データによって推定式の評価を行った結果を図-6に示す。用いたデータは、300×300mmの正方形断面试験体⁴⁾と、500×1500mmの長方形断面试験体⁵⁾の合計7体の実験データである。7体すべてが $\pm 20\%$ の範囲内で推定できており、実験値に対する推定値の比の平均は0.98、変動係数は7.4%と、推定式の導出に用いたものと条件が大幅に異なる試験体に対しても、精度のよい推定値を得ることができた。

4. まとめ

実験包絡線からエネルギー吸収容量を推定する方法を検討した結果を以下にまとめる。

- (1) 正負交番載荷実験における包絡線の面積およびエネルギー吸収容量は繰り返し回数の影響を受ける。
- (2) 実験で得られた包絡線の面積、繰り返し回数およびじん性率より、エネルギー吸収容量を精度よく推定することができる。

今後は、プッシュオーバー解析結果からエネルギー吸収容量を推定する方法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 川島一彦、長谷川金二、長島博之、小山達彦、吉田武史：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の開発に関する研究、土木研究所報告、第190号、1993年9月
- 2) 建設省土木研究所耐震研究室：RC橋脚の動的耐力に関する実験的研究－（その1）－、土木研究所資料、第2232号、1985年8月
- 3) 建設省土木研究所耐震研究室：RC橋脚の動的耐力に関する実験的研究－（その4）－、土木研究所資料、第3210号、1993年7月
- 4) 元木澤知紀、稲熊弘：交番載荷試験における繰返し回数がRC柱の耐力低下に及ぼす影響、土木学会第58回年次学術講演会講演概要集、2003年9月
- 5) 緒方紀夫、田村陽司、井ヶ瀬良則：壁式RC橋脚の耐震補強実験、橋梁と基礎、pp.100-103、1996年8月

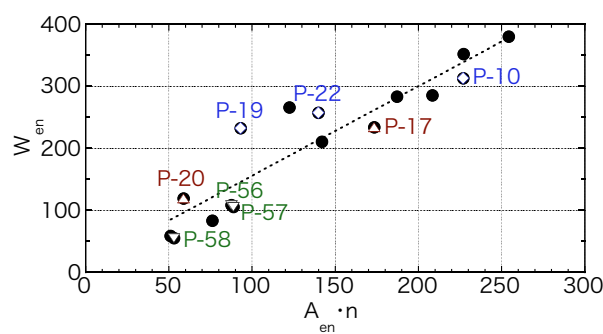
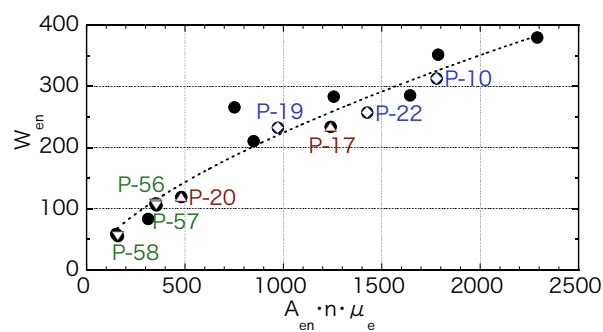
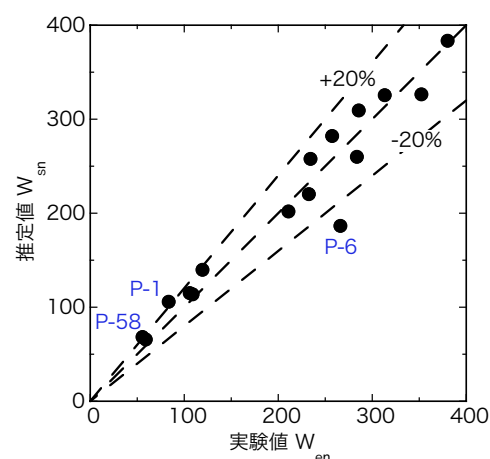
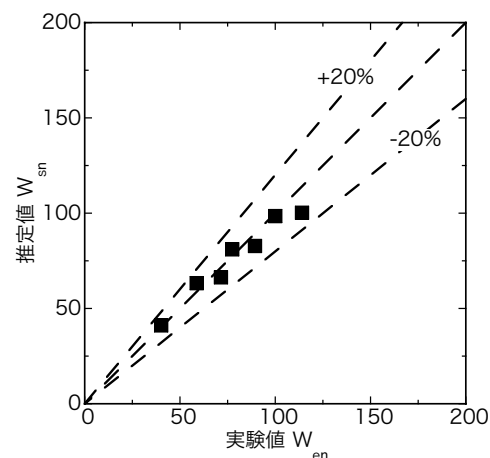
図-3 エネルギー吸収容量と $A_{en} \cdot n$ の関係図-4 エネルギー吸収容量と $A_{en} \cdot n \cdot \mu_e$ の関係図-5 包絡線によるエネルギー吸収容量の推定精度 $A_{en} \cdot n \cdot \mu_e$ の関係

図-6 式(1)の推定精度