

清水建設技術研究所 正員 滝本 和志
建設省 土木研究所 正員 川島 一彦

1. はじめに

地震荷重を受ける鉄筋コンクリート橋脚の損傷程度を定量的に把握するためには、履歴吸収エネルギーが有効と考えられる。ここでは、鉄筋コンクリート橋脚の動的正負交番荷重実験結果を用いて、繰返し回数、せん断支間比、帯鉄筋比および軸力の4つの検討項目が、エネルギー吸収容量に及ぼす影響について検討した。さらに、これらの要因の影響を考慮したエネルギー吸収容量の定式化を行った。

2. 実験概要

供試体は、50×50cmの正方形断面で、主鉄筋にはD13(SD295)を、帯鉄筋にはφ9(SR235)を用いた。軸方向鉄筋比は2.03%、荷重速度は25cm/secである。図-1に基準となる供試体の形状寸法を、表-1に供試体一覧を示す。ただし、帯鉄筋比は供試体基部から50cmの範囲内で変化させており、50cm以上の範囲ではすべて0.1%である。引張側最外縁の主鉄筋が降伏した時点の供試体天端の変位を降伏変位 δ_y とし、降伏変位の整数倍、すなわち、 $m \times \delta_y$ ($m=1, 2, 3, \dots$) の変位振幅で、それぞれn回の正負交番荷重を変位制御により行っている。

3. エネルギー吸収容量の定式化

履歴曲線の面積より、各サイクルごとの履歴吸収エネルギーを求めた。累積吸収エネルギーは、求めようとする時点までの履歴吸収エネルギーをすべて加え合わせたもので、その時点までに供試体が吸収したエネルギーの総和である。各サイクルの耐力は正負の最大値の平均とし、最大耐力以降、耐力が低下して降伏耐力以下になった時点を終局状態と定義した。ここでは、終局時点での累積吸収エネルギーを、特にエネルギー吸収容量と定義する。図-2に各サイクルの耐力を降伏耐力で無次元化した一例を示す。

表-1 供試体一覧

供試体 番号	供試体 高さ h (cm)	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm^2)	繰返し 回数 n (回)	せん断 支間比 h/d	帯鉄筋比 P_w (%)	軸応力度 σ_o (kgf/cm^2)	降伏耐力 P_y (t)	最大耐力 $P_{\max}$ (t)	降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率 δ_u/δ_y	エネルギー 吸収容量 ($\text{t} \cdot \text{m}$)
P-10	250	319	10	5.4	0.10	0	8.91	16.50	12.41	83.10	6.7	28.9
P-11	250	327	10	5.4	0.20	0	9.67	16.53	12.39	83.17	6.7	30.7
P-13	250	334	10	5.4	0.31	0	9.01	15.94	12.34	96.95	7.9	36.7
P-17	175	338	10	3.8	0.10	0	15.29	23.64	7.83	31.88	4.1	11.9
P-19	250	340	3	5.4	0.10	0	8.60	16.11	12.25	127.94	10.4	24.1
P-20	175	324	3	3.8	0.10	0	16.06	23.85	7.81	55.93	7.2	12.2
P-22	250	320	5	5.4	0.10	0	9.09	16.26	12.19	110.39	9.1	24.2
P-56	250	433	10	5.4	0.10	5	12.94	17.84	14.63	58.31	4.0	16.5
P-57	250	408	10	5.4	0.10	10	12.97	18.62	16.08	64.33	4.0	17.0
P-58	250	400	10	5.4	0.10	20	17.89	19.82	20.13	60.31	3.0	13.4

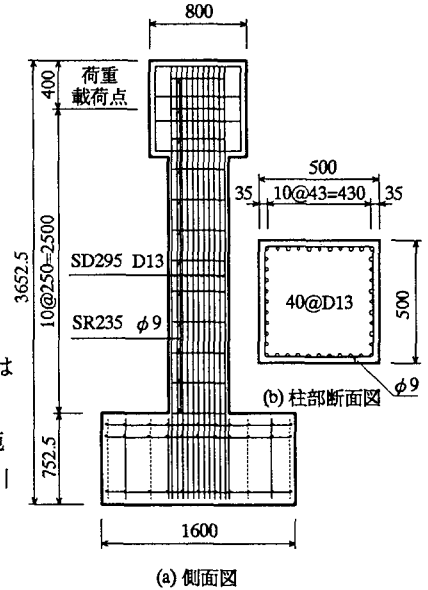


図-1 供試体の形状寸法

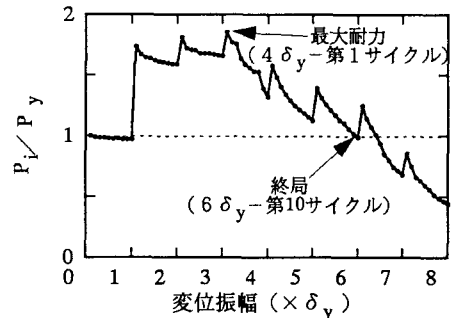


図-2 サイクルごとの耐力変化 (P-10供試体)

図-3に累積吸収エネルギーと繰返し回数の関係を示す。同一変位振幅における累積吸収エネルギーは、繰返し回数 n が多いほど大きい。5 δ_y 終了時における累積吸収エネルギーを比較すると、 $n=10$ の供試体の累積吸収エネルギーは、 $n=5$ の供試体の1.9倍、 $n=3$ の供試体の2.6倍になっている。また、終局時の変位振幅は繰返し回数が少ないほど大きく、 $n=3$ の供試体のじん性率は $n=10$ の供試体のじん性率の1.5倍以上である。一方、エネルギー吸収容量は、 $n=3$ の場合には24.1tf・mであるが、 $n=10$ の場合には28.9tf・mと、繰返し回数に関わらず最大値と最小値の比が1.2倍以内に収まっている。

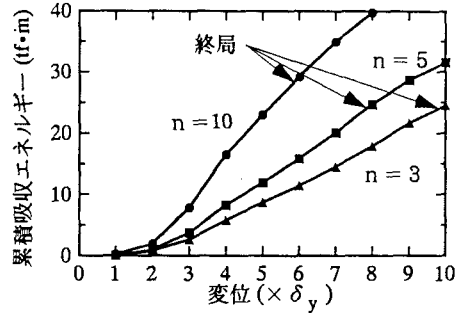


図-3 累積吸収エネルギーと繰返し回数の関係（せん断支間比5.4）

エネルギー吸収容量の定式化のためには、各要因の影響を個々に定量化する必要がある。図-4は帯鉄筋比 $p_w=0.1\%$ のエネルギー吸収容量を基本とし、これに対する任意のエネルギー吸収容量の比を示したものである。エネルギー吸収容量は、帯鉄筋比の増加にともない直線的に増加する。図-5は軸応力度 $\sigma_0=0\text{kgf/cm}^2$ のエネルギー吸収容量を基本とし、これに対する任意のエネルギー吸収容量の比を示したものである。エネルギー吸収容量は、軸応力度の増加にともない減少している。特に、軸応力度が 0kgf/cm^2 から 5kgf/cm^2 にかけての減少量が多い。これらの図より各要因ごとにエネルギー吸収容量に及ぼす影響を表す係数 c_E を求めた。各要因の影響を考慮したエネルギー吸収容量算定式とその適用範囲を以下に示す。

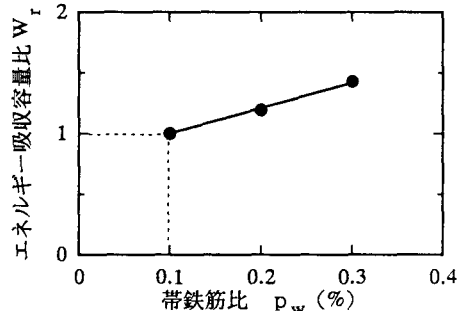


図-4 エネルギー吸収容量比と帯鉄筋比の関係

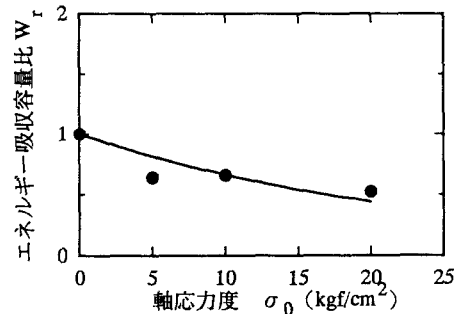


図-5 エネルギー吸収容量比と軸応力度の関係

$$\begin{aligned}
 W &= W_0 (1 + c_{En} + c_{Eh} + c_{Ew} + c_{Ea}) \\
 c_{En} &= 0 & (3 \leq n \leq 10 \text{ 回}) \\
 c_{Eh} &= 0.33 (h/d - 5.4) & (3.8 \leq h/d \leq 5.4) \\
 c_{Ew} &= 2.1 (p_w - 0.1) & (0.1 \leq p_w \leq 0.3\%) \\
 c_{Ea} &= e^{-0.041\sigma_0} - 1 & (0 \leq \sigma_0 \leq 20 \text{ kgf/cm}^2)
 \end{aligned}$$

ここで、 W_0 は基準としたエネルギー吸収容量の値で、P-10、P-19、P-22供試体の平均値(25.7tf・m)としている。

図-6にエネルギー吸収容量を実験値と上式による推定値とで比較した結果を示す。±20%の範囲を越えているのはP-56供試体だけである。実験値に対する推定値の比の平均は1.02、変動係数は11.1%であり、今回の検討に用いた供試体については、エネルギー吸収容量を精度良く推定することができる。

4. まとめ

本研究では、繰返し回数、せん断支間比、帯鉄筋比および軸力の4つの検討項目が、鉄筋コンクリート橋脚のエネルギー吸収容量に及ぼす影響を調べ、これらの要因の影響を考慮したエネルギー吸収容量の定式化を行った。その結果、今回の検討に用いた供試体のエネルギー吸収容量に関しては、十分な精度で推定できることが確認できた。

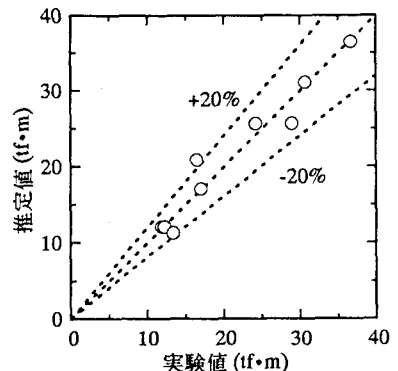


図-6 実験値と推定値の比較