

繰返し荷重をうけるRC部材の荷重-変位曲線のモデル化に関する研究

東北大学工学部 学 ○菊地 春海
東北大学工学部 学 武山 泰
東北大学工学部 正 尾坂 芳夫

1. はじめに

東北新幹線等で多用されているRCラーメン構造物の合理的で 簡便な耐震設計法の確立のためには、交番繰返し荷重を受ける梁や柱部材の弾性域から塑性域に至るまでの 荷重-変形特性、吸収エネルギー等を 正確に把握しておかなければならない。そこで本研究では 特にRCラーメン高架橋の中層梁を念頭に置き 繰返し載荷されたRC梁の 荷重-変形曲線をもとに スケルトンカーブやヒステリシスループをモデル化し、これら構造物の振動解析の際の有意義な入力データを 得ることを目的とする。

2. 実験供試体

使用した実験供試体を右に示す。(表-1) 変位の測定は載荷点とする。繰返し載荷は、降伏変位を基準とし 降伏変位の整数倍ごと各3サイクル行なった。なお $\sigma_{ck}=270(\text{kg/cm}^2)$ である。

3. 考察

a) 曲げひび割れ発生荷重, 降伏荷重, 最大荷重の理論計算値と実験結果との比較を行なった。計算における材料特性として コンクリートの応力-歪曲線は ACI基準, 鉄筋は 歪硬化を考えたものと仮定する。(図-2) 計算値は断面を細分化し ある荷重状態について歪の条件と力のつり合条件を満たすように繰返し計算から求めた。曲げひび割れ発生荷重は コンクリート引張端部応力が $70 f_c' / (280 + f_c')$ ($f_c'(\text{kg/cm}^2)$: 圧縮強度) に達する時とした。その結果(実験値)/(計算値)は平均1.275, 標準偏差0.392となった。部材降伏荷重は、引張鉄筋が降伏する時とした。(実験値)/(計算値)は、平均1.035, 標準偏差0.059となった。すべての実験中で引張主鉄筋降伏以前に セン断降伏したものはなく、この実験の範囲内では、引張主鉄筋の降伏が 部材の降伏をもたらすと考えてよい。最大荷重は 圧縮縁コンクリートが 4000μ の時の荷重と仮定した。(実験値)/(計算値)は 平均1.023, 標準偏差0.0673となった。降伏荷重, 最大荷重は、実験値が計算値より数%大きくなる傾向があるようだが 理論計算とはほぼ一致していることがわかる。

b) 断面のモーメント-曲率関係より 求めた部材降伏時の計算たわみと実験結果の比較を行なった。(図-3) スターラップの降伏が引張主鉄筋降伏以前に起こっても、その時点では P- δ 図の傾きに変化はほとんどみられない。また腹鉄筋比が降伏たわみに及ぼす影響もほとんどみられなかった。計算値は、実験値よりかなり小さく、(実験値)/(計算値)の値に及ぼす要因としてセン断スパン比(l/d)の影響が大きいことがわかった。 l/d が小さくなるほど計算値との差は大きくなる(図-4)

表-1 供試体諸元

供試体	引張主鉄筋比 $P_t = P_c (\%)$	スターラップ比 $R_s (\%)$	a/d	本数 (内方)
A-1	1.07	0.120	1.6	2
-2	(6-p22)		2.7	2
-3			3.5	2
B-1	0.89 (5-p22)	0.120	2.7	8
C-1		0.125		7(2)
-2	0.85	0.249	2.5	2(1)
-3	(4-D16)	0.497		2(1)
D-1	1.81	0.249	2.5	3(1)
-2	(4-D22)	0.497		4(1)
E-1		0.126		1
-2	0.828	0.168	2.3	2(1)
-3	(5-D16)	0.336		1
F-1	0.828	0.117	3.5	1
-2	(5-D16)	0.234		2(1)

図-1 供試体図

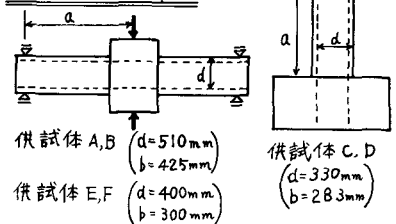


図-2 鉄筋 (SD35)

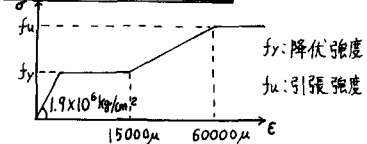
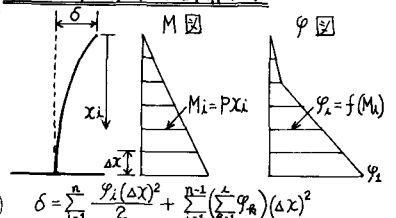


図-3 たわみの計算法



これは 変位に及ぼすせん断変形の影響が大きくなることと関係していると思われる。直線近似をすると(実験値)/(計算値) = $\{5.45 - 1.14(a/d)\}$ となり、相関係数は、0.88となった。

c) 靱性率 破壊靱性率は、自立した耐力低下が起こった時の変位の 降伏変位に対する倍率で表わすことにする。繰返し載荷は 一方向載荷より かなり破壊靱性率が低下する。本研究で用いた $a/d = 1.6 \sim 3.5$ $P_t = 0.85 \sim 1.81(\%)$ 程度の変動要因に対しては 一方向載荷でも繰返し載荷でも 腹鉄筋比が破壊靱性率に及ぼす影響が大きいことがわかった。実験 C-1 における $P_u/P_t = 0.125/0.85 = 0.147$ を基準値としてグラフをえがくと 図-5 のようになった。この実験範囲内では、破壊靱性率は $2 \times \{(P_u/P_t)/0.147\}$ 以上にあるといえる。

d) ヒステリシスループ 繰返し載荷の場合、すべての実験で逆S字型へ移行した。腹鉄筋比により逆S字型へ移行する時の靱性率に変化があるが 普通 $2 \times \delta_y$ ほどで移行している。図-6 に腹鉄筋比が一番大きい C-3 における k_i/k_o を示す。 k_o は降伏時剛性である。戻り剛性は $k_o/\sqrt{\mu}$ で表現できる。 $(\mu: 靱性率)$ また等価粘性減衰定数は 靱性率の増加に関係なく 0.1 前後であることがわかった。これは各ループにおいて逆S字型のスリップを起こしているのが原因であり、吸収エネルギーは 靱性率に関係なくほぼ一定値をとる。

4. まとめ 以上より $a/d = 1.6 \sim 3.5$, $P_t = 0.85 \sim 1.81(\%)$, $P_u = 0.117 \sim 4.57(\%)$ の範囲の梁においては、次の様にモデル化すればよいと思われる。①曲げひび割れ発生荷重、降伏荷重、最大荷重、及び 曲げひび割れ発生時たわみは、理論計算値とする。②降伏時たわみ δ_y は、計算値の α 倍(これを修正降伏時たわみ)とする。 α の値は 図-4 で求めた、 $\alpha = 5.45 - 1.14(a/d)$ とする。③最大荷重時たわみは、靱性率より求める。図-5 より修正降伏時たわみ $\times 2 \times \{(P_u/P_t)/0.147\}$ とする。④最大荷重後は修正降伏時たわみの剛性 k_o の $1/10$ で低下していくものとする。⑤ヒステリシスループは、戻り剛性を $k_o/\sqrt{\mu}$ (μ : 靱性率) とし、 $2 \times \delta_y$ 以後は復元力の符号の変ゆる点からは降伏荷重 $\times 1/8$ (これは等価粘性減衰定数を考慮して仮定した値である) を目指し、その点以後は、前ループの最大点を指向する。この仮定より求めたスケルトンカーブ、ヒステリシスループと実験から求めた供試体 E-2, C-3 のカーブを示す。その適合性は比較的いいと思われる。

