

地盤との相互作用を考慮したRC橋脚の損傷評価に関する基礎的研究

徳島大学大学院

学生員〇須知 晃一

徳島大学工業短期大学部

正会員 平尾 潔

徳島大学工学部

正会員 成行 義文

徳島大学工学部

正会員 児嶋 弘行

1. 要 旨

本研究は、地震荷重を受ける単柱形式のRC橋脚を対象として橋脚が機構崩壊等の完全な崩壊に至る以前に与える損傷の程度を非弾性応答結果をもとに、評価する一指標を提案し、その有効性について若干の検討を加えたものである。

2. 解析法の概要

Fig.1に示す単柱形式の橋脚を対象として、地盤との相互作用を考慮してFig.2のようにモデル化し、線形加速度法を用いた増分法による解析を行なった。ただし、図中の K_c, C_c はRC橋脚のバネ定数、減衰定数、 K_H, C_H は地盤の水平バネ定数、減衰定数、 K_R, C_R は地盤の回転バネ定数、減衰定数であり、 H は橋脚の高さ、 M_1, M_0 は橋脚も含めた上部工およびケーソンの集中質量、 I_g はケーソン重心の回転慣性、また、 δ, γ_0 は橋脚天端とケーソンの水平変位、 θ_0 はケーソンの回転角である。

【増分運動方程式】：このモデルに対する増分運動方程式は式(1)のように表わされる。

$$[M]\{\Delta \dot{Y}_t\} + [C_t]\{\Delta \dot{Y}_t\} + [K_t]\{\Delta Y_t\} = -[M]\{f\}\Delta \ddot{Z} \quad (1)$$

ここで、 $\{Y\} = \{\theta, \gamma_0, \gamma_1\}^T$ (ただし、 $\gamma_1 = \gamma_0 + \theta H + \delta$)、 $\{f\} = \{0, 1, 1\}^T$

$$[M] = \begin{bmatrix} I_g & 0 & 0 \\ 0 & M_0 & 0 \\ 0 & 0 & M_1 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} K_R + K_c H^2 & K_c H & -K_c H \\ K_c H & K_H + K_c & -K_c \\ -K_c H & -K_c & K_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

また、減衰マトリクス $[C_t]$ は、剛性マトリクス $[K_t]$ の要素比例型として、 K_c, K_H, K_R に対する比例定数をそれぞれ $\zeta_c, \zeta_H, \zeta_R$ として次式のように定義した。

$$[C_t] = \begin{bmatrix} \zeta_R K_R + \zeta_c K_c H^2 & \zeta_c K_c H & -\zeta_c K_c H \\ \zeta_c K_c H & \zeta_H K_H + \zeta_c K_c & -\zeta_c K_c \\ -\zeta_c K_c H & -\zeta_c K_c & \zeta_c K_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

【復元力特性およびバネ定数】：RC橋脚のせん断バネ、

地盤の水平および回転バネの復元力特性はFig.3に示すようなBilinear型とし、それぞれのバネ定数として、RC橋脚については文献1)の配筋断面により $K_{ec} = 56.23 \text{ ton/cm}$ とし、また、地盤についてはBarkan (1948)の提案した動的 k 値 (Table 1参照)のうちで、代表的な地盤を考え、軟かい地盤では $k_z = 2 \text{ kg/cm}^3$ 、中程度の地盤では $k_z = 4 \text{ kg/cm}^3$ 、硬い地盤ではこれを2つに分けて $k_z = 6$ および 8 kg/cm^3 とし、岩の条件としては $k_z = 20 \text{ kg/cm}^3$ として、これらの動的 k 値から文献2)の変換式を用いて地盤のバネ定数 K_{eH}, K_{eR} を求めた。

Fig.1 RC橋脚とケーソンの形状寸法

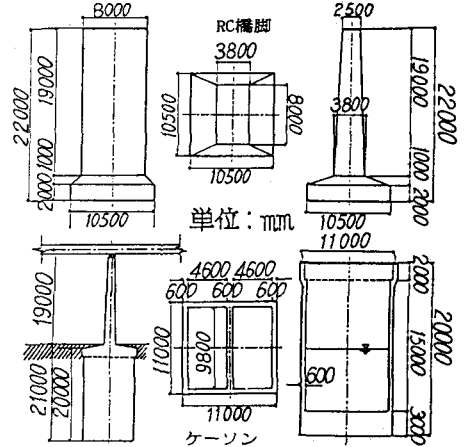


Fig.2 モデル図

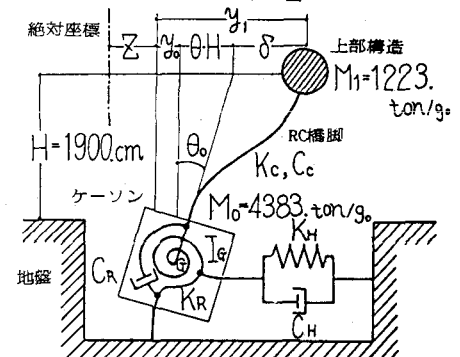
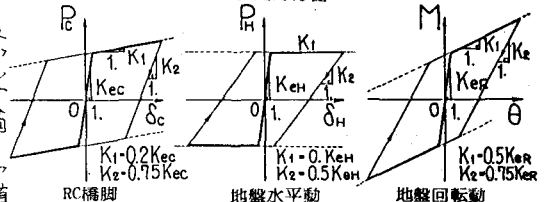


Fig.3 復元力特性

Table 1 動的 k 値²⁾

土質性状	許容静耐力	k_z
軟弱地盤 (プラスチック状態のクレーまたは砂まじりシルティークレー、クレーリ、シルティークレー)	kg/cm ² 1.5 以下	kg/cm ³ 3.0 以下
中程度の地盤 (砂まじりクレーとシルティークレー) →プラスチックリミットに近い	1.5~3.5	3.0~8.0
強固な地盤 (かたいコンシステンシーの砂まじりクレー、シルティークレー、砂利、砂利まじり砂)	3.5~5.0	5.0~10.0
岩	5 以上	10.0 以上

3. 損傷の程度を表わす指標 RC橋脚の損傷の程度を評価する指標としては種々考えられるが、本研究では、初歩的研究として、以下のような粘り、疲労、および、これらを組み合わせた3つの指標 μ , ν , ε を考えてみた。

【指標 μ 】：橋脚の粘り、すなわち、橋脚に生じる塑性変形の程度を表わすものとして、Fig.4に示すように降伏変位を X_y 、最大応答変位を X_m 、終局変位を X_u として次式のような塑性じん率 μ_R を用いた。

$$\mu_R = (X_m - X_y) / (X_u - X_y) = (\mu_D - 1) / (\mu_S - 1) \quad (4)$$

ただし、 $\mu_D = X_m / X_y$ 、 $\mu_S = X_u / X_y$ である。

【指標 ν 】：低サイクル疲労に対する損傷の程度を表わすものとして次式のように2つの指標 ν_1, ν_2 を用いた。ただし、

$$\nu_1 = N / N_1 \quad (5) \quad N \text{ は、Fig.5に示すような応答変}$$

$$\nu_2 = N / N_2 \quad (6) \quad \text{位} |X| \text{ が降伏変位} |X_y| \text{ を越える回}$$

数。 N_1, N_2 は N に対する限界値であり、ここでは $N_1 = 10$ 回とし、 N_2 は応答変位がゼロ横断する回数とした。

【指標 ε 】：粘りと疲労の両面から損傷を評価するための指標として、 $N \leq N_1, N_2$ であれば、指標 μ_R, ν_1, ν_2 の値は、0から1となり、0で無被害、1で崩壊または被害甚大を表わすことになるから、ここでは、単純にこれら μ と ν の値を平均した、次式のような指標 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ を用いた。

$$\varepsilon_1 = (\mu_R + \nu_1) / 2 \quad (7) \quad \text{ただし、式(8)で}\sqrt{\nu_1}\text{としたのは、}$$

$$\varepsilon_2 = (\mu_R + \sqrt{\nu_1}) / 2 \quad (8) \quad \text{指標}\nu_1\text{の0付近の値に重みを付加}$$

$$\varepsilon_3 = (\mu_R + \nu_2) / 2 \quad (9) \quad \text{して評価するためである。}$$

4. 計算結果 計算結果の詳しい説明は講演会当日行なうが、ここでは地盤の強さの影響をみるために ρ_z を2, 4, 6, 8 Kg/cm^3 とした場合、地盤の減衰の影響をみるために減衰定数を5%, 10%とした場合、入力地震の大きさの影響をみるために最大加速度を200, 400, 600 galとした場合の橋脚天端の応答変位 X をTable 2に、また N と N_2 の値をTable 3に、これらの結果を上記の式(4)~(9)に代入して算出した指標 μ, ν, ε の値をTable 4に示しておく。

5. 結 論 1)本解析例では、じん性を表わす指標 μ_R は小さく、疲労を表わす指標 ν はかなり大きくなり、両指標間の差が大である。これに対して、当然のことながら、組合わせた指標 ε は両指標の中間的な値を与え、各指標、 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ の差も比較的小さい。

2) 本研究で用いた指標 μ と ν は、損傷の目安を与える程度のものであるから、橋脚の損傷の程度を実際の現象と対応をもつてそれぞれ指標を定義する必要がある。また、実用的な設計との関係において、どの程度の損傷を設計上の目標にするかという重荷規範を設定する必要がある。³⁾

参考文献

- 1) 小寺・西山：橋りょうの耐震設計：1979 山海堂 PP144~164
- 2) 土質工学会編：土と構造物の動的相互作用：土質工学ライブラリー-9：1973 土質工学会 PP 52~54
- 3) 小屈・南井・鈴木：構造物の動的破壊規範と終局安全性について：1977日本建築学会学術講演梗概集(2094)

Fig.4 RC橋脚の天端応答変位

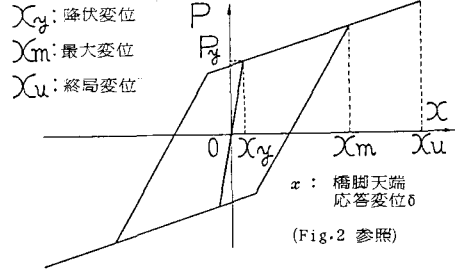


Fig.5 NとN2の説明図

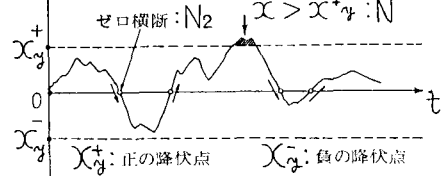


Table 2 RC橋脚の応答変位 X

地盤の強さの影響		
最大加速度	200 gal	応答変位 X cm
地(固定)	2 Kg/cm^3	2.8
地(中)	4 "	3.2
定(石)	6 "	3.3
数(土)	8 "	3.4
地盤の減衰の影響		
最大加速度	200 gal	中程度地盤
減衰定数	5%	3.2
	10%	3.0
最大加速度の影響		
最大加速度	地盤固定(岩)	中程度地盤
200 gal	3.5	3.2
400 "	9.4	9.1
600 "	13.0	12.0

Table 3 NとN2

最大加速度 gal	NとN2 (回数)	地盤固定	中程度地盤
400	N	6	7
	N2	13	11
600	N	9	8
	N2	13	12

Table 4 損傷の程度を表わす指標

最大加速度 gal	400		600	
地盤条件	岩(固定)	中程度地盤	岩(固定)	中程度地盤
μ_D	2.06	2.00	2.85	2.63
μ_S	6.80	6.80	6.80	6.80
μ_R	0.18	0.17	0.32	0.28
ν_1	0.60	0.70	0.90	0.80
ν_2	0.46	0.64	0.69	0.67
ε_1	0.39	0.44	0.61	0.54
ε_2	0.48	0.55	0.63	0.59
ε_3	0.32	0.41	0.51	0.48