

京都大学大学院 学生員 河谷幸生

京都大学工学部 正 員 山田善一

京都大学工学部 正 員 家村浩和

1. まえがき

構造物の耐用年間に一、二度来襲すると予想されるような強地震に対して、現行の修正震度法、許容応力度法にもとづく耐震設計と適用すると、大きな部材断面が必要となり、経済的かつ空間的制約上において好ましくない。このような場合には、塑性域におけるエネルギー吸収とも考慮した弾塑性解析がより望ましいといえる。しかし、R/C構造物は、最近の強震記録の解析や構造部材の繰返し荷重による破壊実験などの結果によれば、強震時での構造物の剛度や減衰性能が時間とともに劣化することがわかっており、解析に際しては、この影響と無視できない¹⁾。本研究は、劣化特性と考慮したR/C高橋脚の弾塑性地震応答解析²⁾を行なうことにより、より合理的かつ経済的な耐震設計と目ざそうとするものである。

2. 弾塑性地震応答解析

弾塑性地震応答解析にあたっては、まず微小時間における曲げ部材要素の等価剛性マトリックスより全体の剛性マトリックスを作成した後、運動方程式を逐次積分する手法を採用した。

2-1 曲げ部材要素の等価剛性マトリックス

曲げ破壊、およびボンドスリップにともなうフレキシビリティを β_A 、 β_B とすると、梁および柱の曲げに関する剛性マトリックスは次のように与えられる。

①梁

$$\begin{bmatrix} \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\beta_A & \beta_A \\ \beta_B & 1+\beta_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/3EI + f_A + j_A & -1/6EI \\ -1/6EI & 1/3EI + f_B + j_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1+\beta_A & \beta_B \\ \beta_A & 1+\beta_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta \theta_x \\ \Delta \theta_y \end{bmatrix}$$

②柱

$$\begin{bmatrix} \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{深要素の} \\ \text{剛性マトリックス} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1, 0, -1/L & 1/L \\ 0, 1, -1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_x \\ \Delta \theta_y \\ U_A \\ U_B \end{bmatrix}$$

(β_A, β_B : rigid zone の長さを示すパラメータ)

2-2 運動方程式

全体の質量、減衰、剛性マトリックスとそれぞれ M, C, K とすると、 $M\Delta\ddot{x} + C\Delta\dot{x} + K\Delta x = -M\Delta\ddot{y}_g - \Delta F$ 。

上記のようにIncremental Formで表わすことにより、本来非線形であるものを線形化して解く。ただしその場合、微小時間内に剛度が一定という仮定を用いるため、非線形復元力特性との間に誤差を生ずることになり、その補正值として ΔF なる量を導入している。また K は時間的に劣化することを考慮し、ここでは履歴曲線として武田のルール³⁾(Fig.2)を採用している。この曲線は、

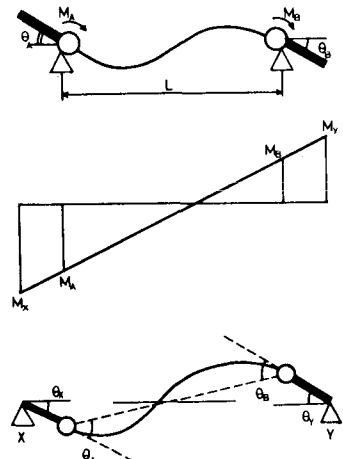


Fig.1 IDEALIZED MEMBER AND ITS MOMENT DISTRIBUTION

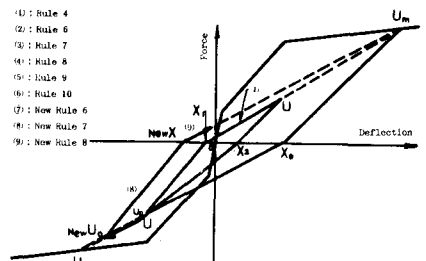


Fig.2 TAKEDA'S RULE

R/C部材の曲げ荷重によるコンクリートのひびわれ点、鉄筋の降伏点、極限荷重点と結ぶ三直線を基礎とする劣化モデルである。

2-3 解析モデル

本研究ではFig. 3のような高架橋と、Fig. 4のようなフレーム構造物にモデル化した。図中の白丸は回転自由なピンジを示し、質量は図中の黒丸で示したように各層に分布させた。その橋軸直角方向の耐震性と最大Ductility Factorを答により検討する。

2-4 入力地震動

入力地震動としては、軟弱表層下の地震基盤に、一定加速度記録を入力として用いた場合の、

- ①自由地表面の水平加速度応答(多重反射理論により算出, 最大値184 gal)
- ②高橋脚と地盤の相互作用を考慮したフーチング天端での水平加速度応答(FEM解析により算出, 最大値146 gal)
- ③高橋脚と地盤の相互作用を考慮したフーチング天端での水平加速度と回転加速度応答(FEM解析により算出, 最大値146 gal, $29.4 \times 10^2 \text{ rad/s}^2$)

3. 計算結果と考察

耐震性判定のため、Fig. 4に示したモデルで、曲げモーメントが大きくなると予想される10, 12, 26点での最大Ductility Factorを各入力に対して示したものがTable. 1であり、入力強度としては①~③の各値を0.7倍した場合、および1.0倍した場合の二種を採用した。Table. 2には各点の存在する部材の特性値を示した。上段柱(Na.10)は鉄筋比が大きく、よって ϕ_u/ϕ_y が小さくなっており、塑性域での余力が小さい。自由地表面入力の場合は、下段柱の天端で、相互作用力の場合には、上段柱の下端で最大Ductility Factorが起っている。これは入力の周波数成分の差が、各次モードに異なった影響をおよぼすためと考えられる。また、回転加速度をも含めた外力と考えると、各点における応答は、1.7~3倍と大きく増加する。

特に、入力強度が大きくなると、崩壊の要因ともなることを示しており、回転加速度の影響は無視できないものであると考えられる。

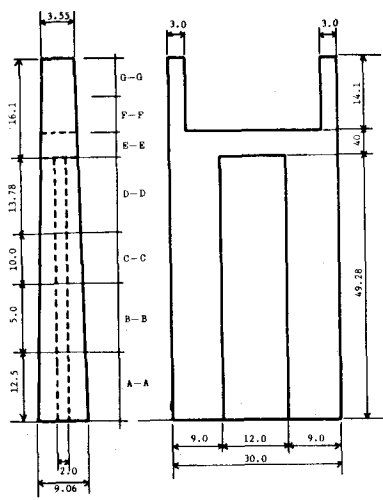


Fig. 3 Dimension of High Elevated Reinforced Concrete Pier

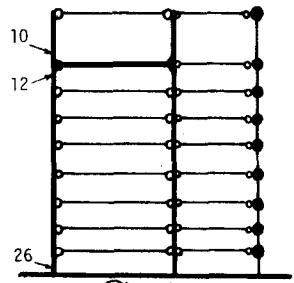


Fig. 4 ANALYZED MODEL

Table. 1 MAXIMUM VALUE OF DUCTILITY FACTOR

INPUT EQ. MOTION	SCALE FACTOR	ELEMENT NO.		
		10	12	26
①	0.7	0.73	1.01	0.36
②		0.81	0.68	0.67
③		1.36	2.08	1.81
①	1.0	1.07	1.44	1.26
②		1.16	0.98	0.98
③		*	*	*

(*COLLAPSE)

Table. 2 MOMENT CURVATURE RELATION OF IDEALIZED MEMBER

ELEMENT NO.	CROSS SECTION	A/bd	M_y	M_u	ϕ_u/ϕ_y
10	8.7X4.0	0.0035	1.270E+04	1.843E+05	14.5
12	5.5X9.0	0.0012	1.504E+04	3.742E+05	21.2
26	8.5X9.0	0.0016	3.032E+04	6.989E+05	23.1

(UNIT: ton, m)

(参考文献)

1) 後藤, 家村, 杉原; 構造部材の損傷度と劣化履歴応答に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第284号, 1979年
2) Otani, S., "Inelastic Analysis of R/C Frame Structures", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 100, No. ST7, July,
3) Takeda, T., "Study of the Load-Deflection Characteristics of Reinforced Concrete Beams Subjected to Alternating Loads," Transactions, Architectural Institute of Japan, Vol. 76, September 1962, p. 98.