I — 9　不規則変動荷重を受ける鋼骨組構造物の動的弾塑性解析法（その．1）

九州大学・工　正員　○今井富士夫
九州大学・工　学生員　寺本恵一郎
九州大学・工　正員　太田　俊昭
長崎大学・工　正員　岡林　隆敏

1．まえがき

通常、構造物の耐震設計には、統計的に定められた震度法、もしくは修正震度法が用いられており、それは基本的には構成部材の降伏を考えない弾性設計法であり、厳密な破壊応答解析法には、利用できないものである。

構造物の地震による破壊パターンを解明するには、適正な外力系の予測と一般的な破壊応答解析法の確立が必要であり、特に前者に関しては、地震が同一場所においてもその都度異った強度と波形を伴うことを常とするため、統計的処理が可能な不規則振動波のモデル化が重要な研究課題となる。種々の擬地震動波に対する伯野，星谷、岡林氏らの研究は、この意味で大きな意義をもち、その完成が大いに期待されるものと云えよう。

そこで、著者らは、一応、外力系として伯野氏の提案した擬地震動波を用い、力点を置いて、鋼構造物の不規則地震動外力に対する破壊メカニズムの統計的解明法の考察を試みた。

すなわち、その第１段階として２層ラーメンを対象に選び、著者らの単純塑性理論に基づく応答解析法を応用して、単一の正弦波地動と位相が不規則なフーリェ級数型地動に対する破壊応答を求め、それらの比較対照を行なわんとするものである。

2、解析例

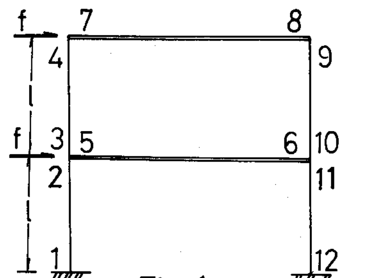

Fig-1

図－１の２層ラーメンを考察の対象にするにあたって、各諸元量は、表－１に示すとうりである。さて、このラーメンに対して著者らの方法（文献（１））に従い、必要な係数行列を求めれば、それぞれ次のようになる。すなわち、材端モーメント増分 $\dot{M}$ と、接線角増分 $\dot{\tau}$ との関係式 $\dot{M}=K\dot{\tau}$ ，ならびに接線角増分 $\dot{\tau}$ と、変形増分 $\dot{U}$ との関係式 $\dot{\tau}=A_e\dot{U}-A_p\dot{\theta}^p$ は、それぞれ次の内容となる。

$$
\begin{Bmatrix}\dot{M}_1\\ \dot{M}_2\\ \dot{M}_3\\ \dot{M}_4\\ \dot{M}_5\\ \dot{M}_6\\ \dot{M}_7\\ \dot{M}_8\\ \dot{M}_9\\ \dot{M}_{10}\\ \dot{M}_{11}\\ \dot{M}_{12}\end{Bmatrix}
=\frac{EI_c}{l}
\begin{bmatrix}
4 & 2 & & & & & & & & & & \\
2 & 4 & & & & & & & & & & \\
 & & 4 & 2 & & & & & & & & \\
 & & 2 & 4 & & & & & & & & \\
 & & & & 4k_l & 2k_l & & & & & & \\
 & & & & 2k_l & 4k_l & & & & & & \\
 & & & & & & 4k_u & 2k_u & & & & \\
 & & & & & & 2k_u & 4k_u & & & & \\
 & & & & & & & & 4 & 2 & & \\
 & & & & & & & & 2 & 4 & & \\
 & & & & & & & & & & 4 & 2 \\
 & & & & & & & & & & 2 & 4
\end{bmatrix}
\begin{Bmatrix}\dot{\tau}_1\\ \dot{\tau}_2\\ \dot{\tau}_3\\ \dot{\tau}_4\\ \dot{\tau}_5\\ \dot{\tau}_6\\ \dot{\tau}_7\\ \dot{\tau}_8\\ \dot{\tau}_9\\ \dot{\tau}_{10}\\ \dot{\tau}_{11}\\ \dot{\tau}_{12}\end{Bmatrix}
\quad \text{----}(1)
$$

$$
\dot{\tau}=
\begin{bmatrix}
0 & 0 & -1 & 0\\
1 & 0 & -1 & 0\\
1 & 0 & 1 & -1\\
0 & 1 & 1 & -1\\
1 & 0 & 0 & 0\\
1 & 0 & 0 & 0\\
0 & 1 & 0 & 0\\
0 & 1 & 0 & 0\\
0 & 1 & 1 & -1\\
1 & 0 & 1 & -1\\
1 & 0 & -1 & 0\\
0 & 0 & -1 & 0
\end{bmatrix}
\begin{Bmatrix}\dot{\theta}_2\\ \dot{\theta}_4\\ \dot{y}_2/l\\ \dot{y}_4/l\end{Bmatrix}
-
\begin{bmatrix}
\beta_1 & & & & & \\
 & \beta_2 & & & & \\
 & & \beta_3 & & & \\
 & & & \beta_4 & & \\
 & & & & \beta_5 & \\
 & & & & \beta_5 & \\
 & & & & & \beta_7\\
 & & & & & \beta_7\\
 & & & \beta_4 & & \\
 & & \beta_3 & & & \\
 & \beta_2 & & & & \\
\beta_1 & & & & &
\end{bmatrix}
\begin{Bmatrix}\dot{\theta}^p_1\\ \dot{\theta}^p_2\\ \dot{\theta}^p_3\\ \dot{\theta}^p_4\\ \dot{\theta}^p_5\\ \dot{\theta}^p_7\end{Bmatrix}
\quad \text{----}(2)
$$

ここで、$\dot{\theta}^p$ は、塑性ヒンジ発生による不連続角増分である。また、文献（１）に従えば、変形増分 $\dot{U}$ ，および、$\dot{\theta}^p$、ならびに $\dot{M}$ は、それぞれ上記の係数行列を用いて、

$$\dot{\mathbb{U}} = (\mathbb{I} + \mathbb{S}\mathbb{G}\mathbb{C}_g^{-1}\mathbb{G}^T)\mathbb{S}\dot{\mathbb{P}}$$
$$\dot{\theta} = \mathbb{C}_g^{-1}\mathbb{G}^T\mathbb{S}\dot{\mathbb{P}}$$
$$\dot{\mathbb{M}} = \mathbb{k}\{\mathbb{A}_e(\mathbb{I}+\mathbb{S}\mathbb{G}\mathbb{C}_g^{-1}\mathbb{G}^T) - \mathbb{A}_p\mathbb{C}_g^{-1}\mathbb{G}^T\}\mathbb{S}\dot{\mathbb{P}} \qquad \text{------ (3)}$$

ここに、 $\mathbb{S} = (\mathbb{A}_e^T \mathbb{k} \mathbb{A}_e)^{-1}$ ， $\mathbb{G} = \mathbb{A}_e^T \mathbb{k} \mathbb{A}_p$ ， $\mathbb{C}_g = \mathbb{H} - \mathbb{G}^T\mathbb{S}\mathbb{G}$ ， $\mathbb{H} = \mathbb{A}_p^T \mathbb{k} \mathbb{A}_p + \alpha_h$

かくして、各荷重段階で弾塑性応力状態を判別することにより、2層ラーメンの動的弾・塑性解析が可能となるが、その際、減衰項は、次の形で外力$\mathbb{P}$に含ませることにする。すなわち、

$$\mathbb{p} = \mathbb{P}/l = -\mathbb{m}\ddot{\mathbb{U}} - \mathbb{C}\dot{\mathbb{U}} + \mathbb{f} \qquad \text{------- (4)}$$

ただし、$\mathbb{C}$は、直接定めることは一般に困難であり、多くの場合、実験的に求めた減衰比から、その要素を決定する方法がとられている[2]。すなわち、第r次の減衰比をh_r，固有円振動数をω_rとすれば、$C_r^* = 2h_r\omega_r$の関係より、

$$\mathbb{C} = (\mathbb{g}^{-1})^T \mathbb{C}_d^* \mathbb{g}^{-1} \qquad \text{------- (5)}$$

ここに、$\mathbb{g}$は、固有値解析で得た固有モードに関する行列であり、$\mathbb{C}_d^*$，M_r^*は、次の形となる。

$$\mathbb{C}_d^* = \begin{bmatrix} M_1^* C_1^* & 0 \\ 0 & M_2^* C_2^* \end{bmatrix} \qquad M_r^* = \{\mathbb{g}_r^T\}\,\mathbb{m}\,\{\mathbb{g}_r\}$$

さて、応答解析には、まず、正弦波荷重 $\mathbb{f} = \mathbb{m}\alpha_s \sin\omega t$（$\mathbb{m}$；質量マトリックス，$\alpha_s$；基準加速度マトリックス，$\omega$；外力円振動数）について解析を行ない、さらに、位相差不規則な加速度$\alpha(t)$で表わしたものを擬地震動として採用する[3]。

$$\alpha(t) = \sum_{i=1}^{400} b \sin 2\pi(f_i t + \phi_i) \qquad \text{------- (6)}$$

ここに、b；加速度，f_i；振動数（$f_i = 0.25 \sim 10\,Hz$），$\Delta f = 1/40\,Hz$， t；時間，ϕ_i；一様乱数

特に、後者については、一様乱数の組をN個とり、応答値$X(t, N)$を求めれば、その期待値，および分散値が、それぞれ定められることになる。

期待値　$E[X(t)] = \sum_{i}^{N}\{X(t,i)/N\}$

分散値　$\sigma^2[X(t)] = E[X^2(t,i)] - E[X(t,i)]^2$

なお、数値結果の詳細は、講演時に報告する予定である。

	I (m^4)	A (m^2)	W (t)	k (剛比)	
柱	0.0732	0.139	0	1	$l = 9.481\,m$
梁(Lower)	0.0810	0.120	713.0	0.597	$T_0 = 0.680$ sec
梁(Upper)	0.0816	0.121	785.0	0.602	$E = 2.1\times10^7\,t/m^2$

表－1

〈参考文献〉

(1) 太田俊昭 他2名；平面骨組構造物の静的，動的塑性曲げに対する数値解析法，土木学会論文報告集，第239号，1975年7月

(2) 河島佑男；動的応答解析，培風館，pp 86 ～ 89

(3) 伯野元彦 他1名；地盤の非線形性を考慮した地震動特性，土木学会論文報告集，第240号，1975年8月