

[171] 鉄筋コンクリート構造物の弾塑性応答解析に用いる地震動の強さの評価に関する検討

正会員 ○西川 孝夫 (東京都立大学工学部)

関 崇夫 (東京都立大学工学部)

1. まえがき

構造物の弾塑性域にわたる応答解析を行なう場合、その応答を大きく支配する要因は、地震動の強さ(破壊力)と構造物の力学的性状(復元力特性)との関係であることは良く知られている。特に変形の増大あるいはくり返しに伴ない剛性低下を生じるような力学的性状を有する鉄筋コンクリート造構造物の場合には、その応答は地震動の周期特性の影響を強くうけるため、地震動の強さは、その地震動の周期特性を考慮した何等かの指標と値とで与えられることが望ましい。しかし現在のところ、一般の鉄筋コンクリート造建物の応答解析用地震動の強さは、最大加速度とその値の大きさを評価されることが多いが、この指標は地震動の周期特性を反映したものとは言えない。そこで本論文では、鉄筋コンクリート造構造物の応答解析用地震動の強さの指標として、どのようなものを用いるのが最善であるかを検討するために、周期特性の全く異なる2種類の地震波群を用いて、その強さを表わす指標を4種類選んでそれぞれで地震波を規準化し、それらの地震波に対して1質点系弾塑性応答解析を行ない、強さの指標の選択が応答に及ぼす影響、又復元力特性の違いとそれら指標との関係が応答に及ぼす影響について考察してみたものである。

2. 応答解析用地震動とその強さの指標

応答解析に用いた地震波形は、周期特性の異なる2種類の人工地震波群で、その群はそれぞれ20波の波形からなっている。図-2に各グループの平均応答スペクトルを示したが、TYPE-Sのグループは比較的短周期に顕著な卓越周期(約0.4秒)を、TYPE-Gは比較的長い周期範囲にわたって複数の卓越周期を有するような性質を持つ地震波群である。各グループの地震波形の例を図-1に示した。なお各地震動の継続時間は15秒である。

次にそれらの周期特性の全く異なる地震波を用いて応答解析を行なった場合、その周期特性の違いにかかわらず、応答量を同等に評価するためには、どのよう

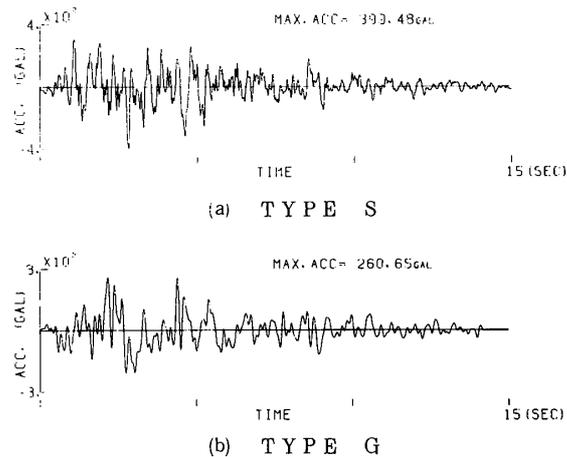


図-1 加速度波形

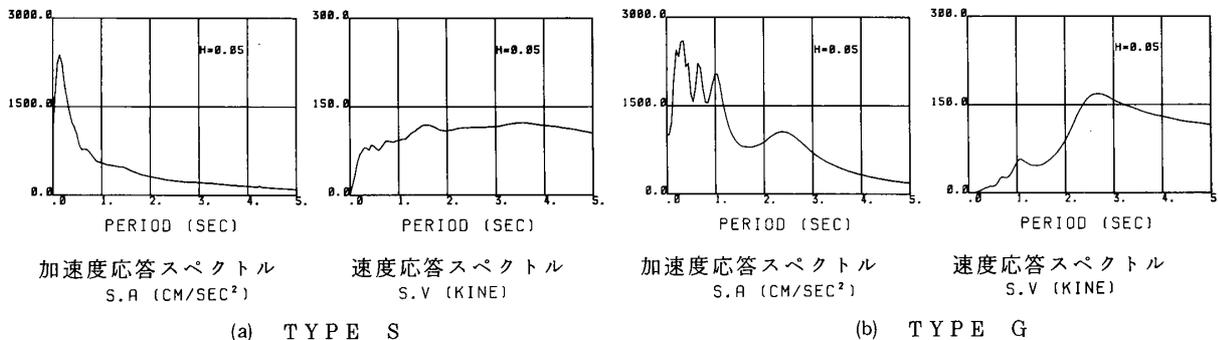


図-2 平均応答スペクトル

な指標を用いて地震動の強さを表わしておくのが合理的かを検討するために、本論文では、最大加速度（A.M）最大速度（V.M），スペクトル強度（S.I），加速度波形の自乗和平方根強度（R.M.S）の4つをその指標として選び種々の考察をすることにした。ここで

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} S_v(h, T) dT \quad S_v: \text{速度応答スペクトル}$$

$$RMS = \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (\ddot{y})^2 dT \right]^{1/2} \quad T_0: \text{地動の継続時間}$$

\ddot{y} : 地動の加速度波形

である。

なお、この指標に関しては、小林博士等^{1), 2)}による、応答スペクトルの周期1秒に対する変位又は速度を用いる等の提案もある。

応答解析を行なう際の各指標間の具体的な値としてはTYPE-Sの地震動の最大加速度を1000galとした時の最大速度、スペクトル強度、自乗和平方根強度の値を用いることにした。すなわち最大加速度を地震動の強さを示す指標とする場合には、すべての地震動の最大加速度が1000galになるように修正して応答解析を行なうこととし、別にスペクトル強度を指標とする場合には、TYPE-Sの最大加速度1000galの時のスペクトル強度の値(SI≒166)にTYPE-Gのスペクトル強度が一致するように加速度波形の振巾を修正することになっている。両地震波形の各指標間の関係は表-1に示した通りである。

したがってこの場合、例えばTYPE-Sの各地震波の最大加速度が1000galなのに対して、TYPE-Gの地震波群の平均最大加速度は約650galに減少することになる。

3. 構造物の復元力特性

応答計算用復元力特性としては、鉄筋コンクリート構造物の弾塑性解析にしばしば用いられるBi-linear型 Degrading Tri-linear (D-TRI)型, Origin Oriented (Origin)型, Slip型の4つを用いることにした。それらの復元力特性の概略の形状を図-3に示す。Bi-linear型の場合は $K_2 = K_1/10$ としているが、他の3つのモデルでは、 $K_3 = K_2/20$, $Q_c = Q_y/3$ としている。又降伏点剛性 K_y は $K_1/4$ と仮定して降伏変形を定めている。構造物の降伏強度 Q_y は、TYPE-Sの最大加速度を1000galにしていることを勘案して、降伏せん断力係数 C_y にして、0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0の6種類の値を設定して計算を行なった。又初期剛性 K は、構造物の弾性周期が0.1秒, $0.1\sqrt{2}$ 秒, 0.2秒…………… $3.2\sqrt{2}$ 秒になるようにそれぞれ設定している。

4. 応答解析結果とその検討

i) 強さの指標と応答

図-4に、地震動の強さを示す指標として最大加速度を用いた(すべての地震動の最大加速度は1000galに統一されている)場合の、Origin型復元力特性に対する弾塑性変位応答スペクトルを示した。なお地震動の周期特性の差による応答の違いが明瞭に分別できるように、各グループごとの地震波群に対する応答の平均をそれぞれグループ別に示している。スペクトルの図中の6本の線はそれぞれ降伏せん断力係数 C_y に対応し、点線は

表 - 1

両地震波形の各指標間の関係

TYPE	AVE. ACC. MAX (GAL)	AVE. VEL. MAX (KINE)	AVE. S. I (20%) (CM)	AVE. R. M. S (GAL)	
S	1000.0	80.0	154.0	210.0	
	S.D	0.0	25.2	34.6	22.7
	COV	0.0	0.32	0.22	0.11
G	×1000.0	159.9	296.0	253.1	
	S.D	0.0	37.1	58.9	32.6
	COV	0.0	0.23	0.17	0.13
	530.8	×80.0	152.3	132.3	
	514.1	79.8	×154.0	128.1	
	841.3	132.3	244.9	×210.0	

S. D : STANDARD DEVIATION
COV : COEFFICIENT OF VARIATION
KINE : CM/SEC

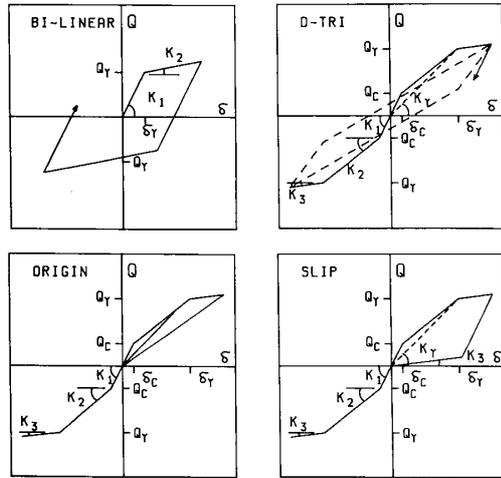


図-3 復元力特性

弾性である。この図から明らかのように、地震動の強さを最大加速度で規準化した場合には、TYPE-Gに対する応答がTYPE-Sに対する応答より全体的にかなり大きくなっている。このように最大加速度で地震動の強さを評価した場合には、その地震動の有する周期特性によって、構造物に与える破壊力は相当異なっていることになり地震動の強さを示す指標としては問題のあることが分る。

そこで本論文で用いた4つの指標で各々の地震動を規準化した場合、地震動の周期特性の違いによる応答の違いがどの様であるかを定性的に見るために、TYPE-Sに対する応答変位で除したものを C_y が0.5と1.0について各復元力ごとに図-5に示した。この図で縦軸の値が1.0になる時、両地震動の強さ(破壊力)が同等であると評価すると、最大加速度で強さを考えた場合には、構造物の強度の違い復元力特性の違いにかかわらず、ごく短周期部分を除いて長周期成分を多く含むTYPE-Gの地震動の破壊力はTYPE-Sの地震動の破壊力よりかなり大きく評価していることが明瞭に読みとれる。最大速度あるいはスペクトル強度を用いると、特に弾性周期が0.4秒前後以上の構造物に対しては、地震動の周期特性にかかわらず、その強さを同等に評価し得ることが分る。しかし

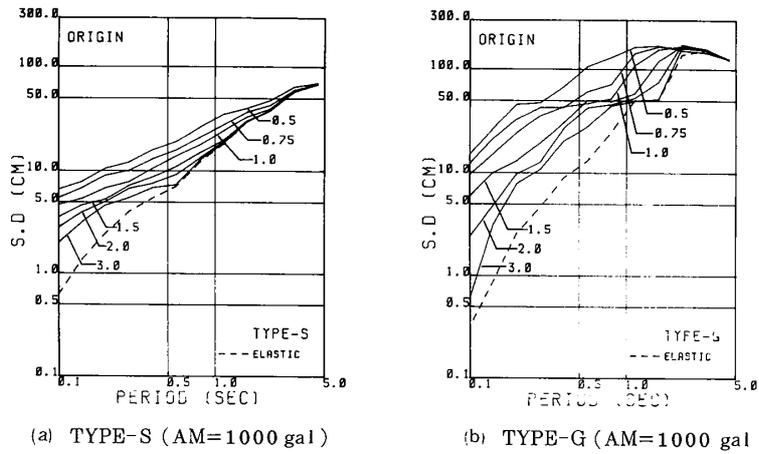


図-4 弾塑性変位応答スペクトル

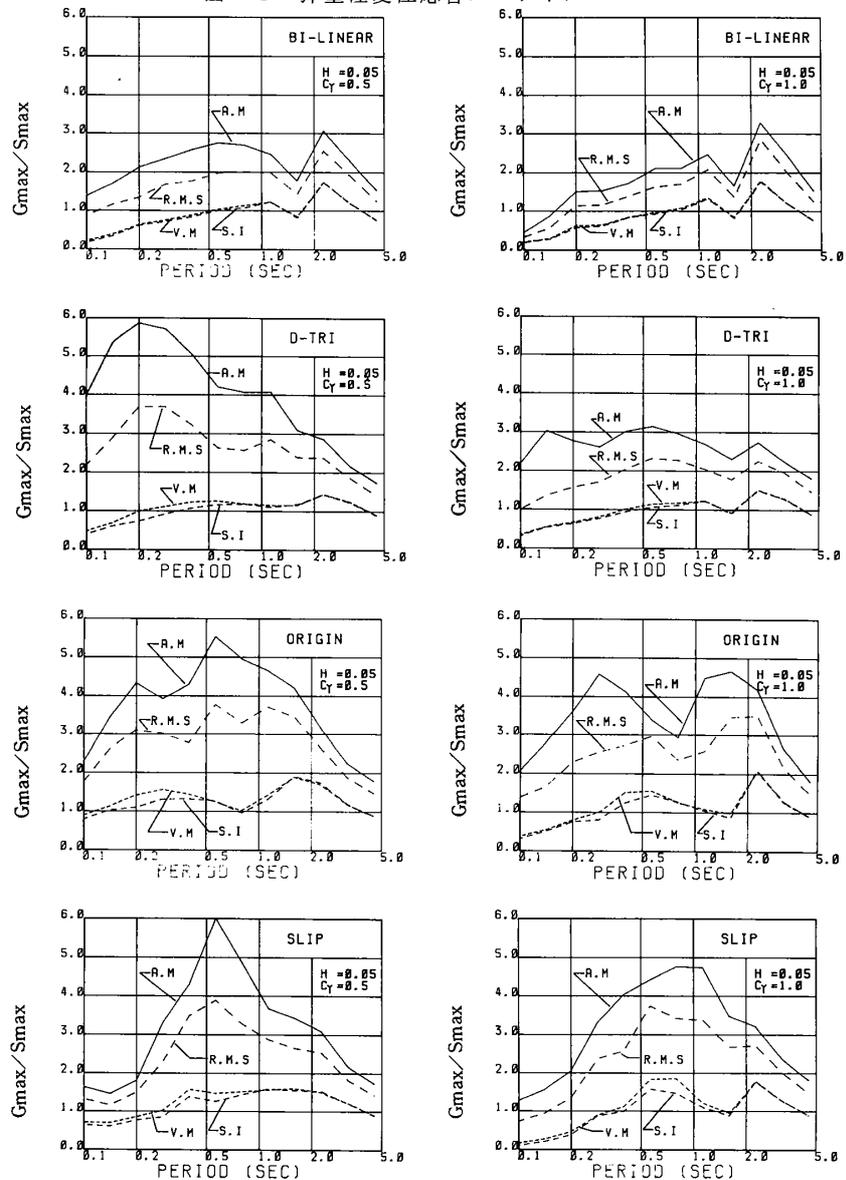


図-5 最大変位の比 (TYPE G/TYPE S)

0.2 ~ 0.3 秒以下の周期をもつものに対しては、従来から加速度で地震動の強さを評価するのが合理的だと言われてきたが、本解析によるとむしろ加速度波形の自乗和平方根強度を用いる方が適当とも考えられるが、更に詳細な検討が必要である。

ii) 復元力特性と応答

図-6には、復元力特性の違いが応答にどの様に関連しているかを見るために、各タイプの応答をそれぞれ Bi-linear に対する応答で除したものを示した。

短周期成分では、剛性低下をする復元力に対する応答は剛性低下をしない Bi-linear に対する応答よりはるかに大きくなっていること、その傾向は地震動の破壊力が強い程顕著であることが分る。又地震波群の違いによる応答を見ると、TYPE-S に対しては図-2の応答スペクトルから予想されるように、剛性低下が極端には生じず、短周期部分でもそれほど大きな倍率とはならないが、TYPE-G に対しては、その地震動の持つ周期特性の影響で剛性低下が大きく起こり、応答値は Bi-linear よりもはるかに大きくなっている様子が分る。

5. むすび

鉄筋コンクリート造構造物の復元力特性をとり上げて、特性の異なる地震動に対する弾塑性応答解析を行ない、地震動の破壊力を定量的に示す指標について考察を行なった。0.3 ~ 0.4 秒以上の構造物に対しては最大速度あるいはスペクトル強度がその指標として適しているが、0.2

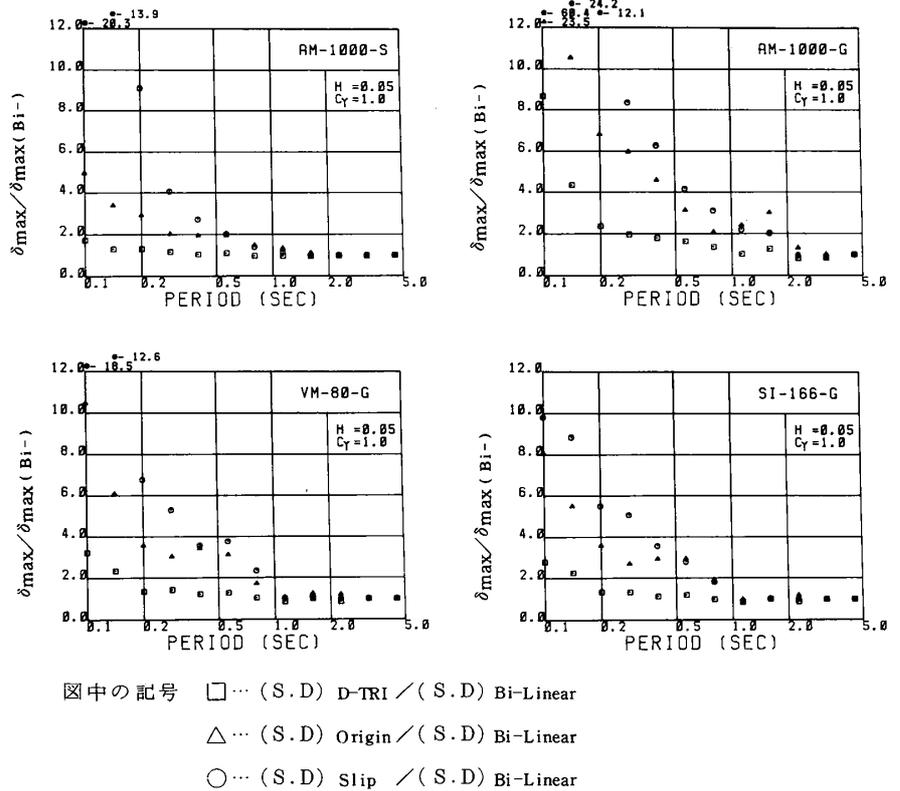
秒前後の建物の応答解析のためには、本解析では加速度波形の自乗和平方根強度の方が適していることを述べた。しかし、これらの点に関しては更に新しい指標を模索する等、詳細な検討が必要である。

謝辞

本研究を行なうに当たり、数値計算等に多大な御協力をいただいた都立大学卒研究生 河西和幸氏、ならびに岡崎英樹氏(現 熊谷組)に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長橋, 小林: 「地震動の強さを評価する簡便な尺度としての地震動最大振幅」, 論文報告集 181号 1979. 3.
- 2) 小林, 長橋: 「重層建築物の耐震設計を対象とした地震動の強さを評価する簡便な尺度としての地震動最大振幅」, 論文報告集 210号 1973. 8.
- 3) 関, 西川: 「弾塑性応答解析に用いる地震動の強さの評価に関する検討」 関東支部 1983



を表わしている。

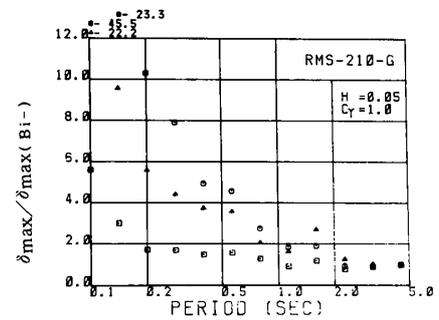


図-6

復元力特性と応答の関係