

神奈川大学 正会員○荏本孝久
都立大学 正会員 望月利男

神奈川大学 学生員 栗山利男
大阪市立大学 正会員 宮野道雄

1. はじめに 地震後の墓石（単体）転倒調査は古くから実施され、WESTの公式を基に震度（最大加速度）の推定を行なっている。しかし、単体の転倒は入力地震動の最大加速度、周波数特性のみならず、単体の大きさやB/H など他の条件に大きく影響される。よって本研究は、そのような条件を考慮した単体の転倒理論からの震度評価方法を検討することを目的とした。

2. 解析方法 本研究では、単体の地震時運動理論に基づき理論的な解析を行ない、既往の単体転倒実験結果との比較を実施した。また、表-1に示す種々の加速度レベル、および周波数特性をもつ21ケースの強震記録を基に、高さ別に動的臨界転倒加速度を求め、その結果を数量的に解析し、WESTの公式（高さH、幅B、 $\alpha=(B/H)g$ ）との関係を検討する。

3. 単体モデル 計算に用いた単体モデル、および記号その他は図-1に示すが、計算を行なうに当たり過去の墓石調査資料により、単体寸法は、高さ20~120cm までを5cm 間隔とし、B/H は各地震の最大加速度値より定める。また、単体の反発係数は 0.5、静摩擦係数は 0.6、動摩擦係数は 0.3とし衝突の中心とは $b/3$ と定める。

4. 単体転倒実験結果との比較 図-2は、単体転倒実験結果を示すもので、寸法別に、正弦波入力による単体転倒の最小加速度と周波数との関係である。図より、高周波数になるに従い転倒加速度は大きくなり、また、単体寸法が大きくなるに従い転倒しにくくなる。すなわち、Scale Effectの効果が認められる。また、理論解析結果は実験結果とほぼ近似している。

5. 動的臨界転倒加速度 図-3は、表-1に示す21ケースの地震記録に対する解析結果の1例である。図より、単体寸法が大きくなるに従い動的臨界転倒加速度は大きくなる傾向が認められ、入力地震特性によって異なるがScale Effectの効果が認められる。その傾向は大きく分けて3つのタイプに分類できる。(a)はKern County 地震Taft(EW)であり、Scale Effectの効果はあまり見られない。このタイプは主に優勢な長周期成分を含み最大加速度値はあまり大きくないタイプの地震である。(b)はNicaragua 地震Managua(EW)であり静的推定加速度と動的臨界転倒加速度との差は大きくScale Effectの効果も見られる。このタイプはある程度の長周期成分を含み最大加速度値は比較的大きいタイプの地震である。(c)は広尾沖地震釧路港(EW)であり単体寸法が大きくなるに従いScale Effectの効果も大きく現れる。このタイプは主に短周期成分のみ卓越する

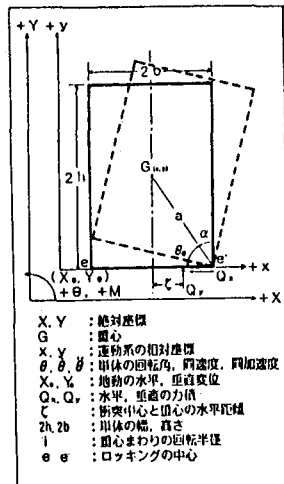


図-1 単体モデル

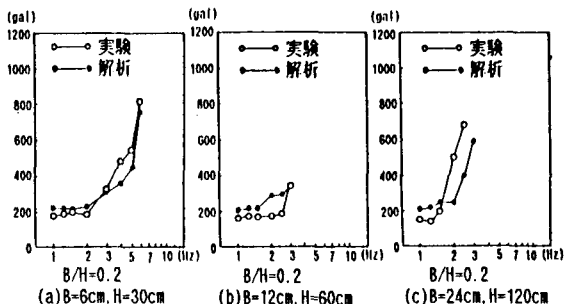


図-2. 単体転倒実験と解析結果

表-1 入力に用いた地震記録

地 區 名	發生年月日	規模	地震震源深度	最大加速度 (gal)
Kern Country	1952. 7. 21	7. 1	1aft. Calif., U.S.A.	1. EW. 154. 715. 10. 102. 90
Romania	1977. 3. 4	7. 2	Building Research Institute, Bucuresti, Romania	2. WS. 194. 927. 10. 105. 763 3. EW. 163. 087
十勝沖	1968. 5. 16	7. 9	八戸港、八戸市	4. NS. 232. 760. 10. 86. 30 5. E. 180. 590
宮城沖	1978. 6. 12	7. 4	東北大学建設系建物1F 仙台市	6. NS. 258. 02. 10. 152. 99 7. EW. 202. 66
宮城沖沖	1978. 6. 12	7. 4	塩釜工場、塩釜市	8. NS. 264. 80. 10. 166. 10 9. EW. 272. 80
Imperial Valley	1940. 5. 19	7. 7	El Centro, Calif., U.S.A.	10. NS. 341. 70. 10. 206. 30 11. EW. 210. 10
Nicaragua	1972. 12. 23	6. 2	Refineria. Esso, Managua, Nicaragua	12. NS. 329. 020. 10. 319. 519 13. EW. 374. 450
Parkfield	1966. 6. 28	6. 4	Cholame. Station No. 2, Calif., U.S.A	14. NS6E. 498. 30 15. EW. 301. 32
伊豆半島東方沖	1980. 6. 29	6. 7	鎌倉寺、静岡縣	15. NS. 14. 077. 10. 49. 329 16. EW. 13. 727
伊豆半島東方沖	1980. 6. 29	7. 4	湖北權村近、右善市	17. LG. 192. 551. 10. 116. 176 18. 1R. 266. 787
広島沖	1962. 4. 23	7. 0	鍋降港、廣島市	19. NS. 240. 00 20. EW. 380. 00
Koyna	1967. 12. 11	7. 0	Koyna Dam, India	21. 1R. 643. 283. 10. 307. 436

タイプの地震である。

6. 震度評価方法 図-4は、単体の高さHを3区分に分け強震記録による〔最大加速度値(Amax)〕／〔動的臨界転倒加速度値〕の各区分の平均 $(\frac{B}{H}g)_D$ とB/Hとの関係をプロットしたものである。また、図中のNo. は、表-1の最右欄のNo.に対応する。図より、B/Hが大きくなるに従い、 $Amax/(\frac{B}{H}g)_D$ は小さくなりその傾向も単体寸法の大きなものほど顕著である。このことは、WESTの公式により推定される加速度(Amax)が過少評価されていることになる。また、その関係は、長周期成分の卓越する地震と短周期成分のみ卓越する地震とに分けることができる。一方多変量解析手法である数量化理論I類により、表-2に示す外的

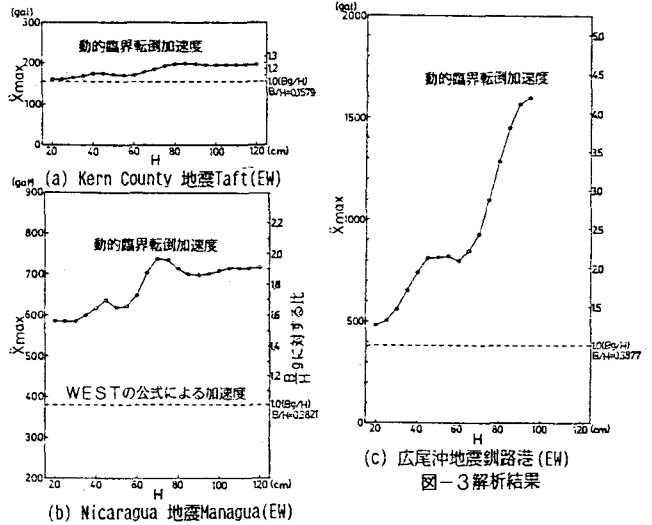


図-3解析結果

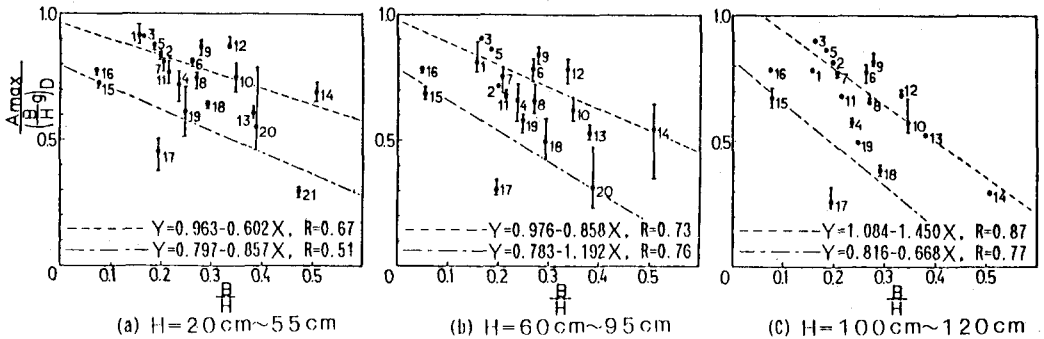


図-4. 重回帰分析結果

注・・・ $Y = \frac{Amax}{(B/H)g}$, $X = (B/H)$

規準およびアイテム・カテゴリーにより解析した結果、動的臨界転倒加速度に対する寄与度は、B/H が最も大きく、次に地震動の周波数特性と高さHの順であることが認められた。また、この場合の重相関係数は 0.773である。図-5, 6に解析結果を示す。

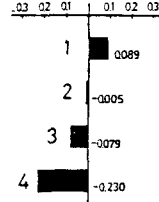
7. おわりに 以上の結果より、従来からのWESTの公式によって評価される地震動の最大加速度(震度)は、単体の寸法や入力地震動の性質によっては、過少評価されることが考えられる。従って、図-4, および6に示されるような関係を用いることによって、Scale Effectを考慮した震度評価を行なうことが必要であると考えられる。

表-2 アイテム・カテゴリー表

	カテゴリー	
	1	2
I	1 B/H<0.2	2
	2 0.2<B/H<0.3	3
	3 0.3<B/H<0.4	4
	4 0.4<B/H	
II	1 H<42.5cm	2
	2 42.5cm<H<67.5cm	3
	3 67.5cm<H<92.5cm	4
	4 92.5cm<H	
III	1 短周期卓越	2
	2 長周期卓越	
外的基準	$\frac{Amax}{(B/H)g}$	

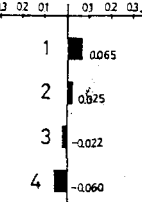
第Iアイテム(B/H)

カテゴリー・スコア



第IIアイテム(H)

カテゴリー・スコア



第IIIアイテム(周波数特性)

カテゴリー・スコア

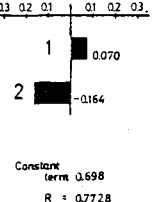


図-5. カテゴリー・スコア

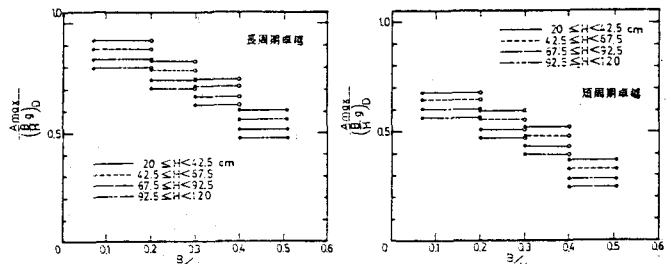


図-6. 数量化理論による多変量解析結果