

基礎地盤コンサルタンツ(株) 正員 ○ 安田 進
 東京大学生産技術研究所 正員 龍岡文夫

◆ よえがき ◆

地震荷重はランダムであるのにもかかわらず、室内における動的強度試験が一様振幅荷重で行なわれる理由は、ある特殊なランダム荷重で得られた実験結果の汎用性が低いからである。これまでに、一様振幅載荷強度とランダム載荷強度の関連づけには次の2つの方法がとられていたと言えよう。

(1) 等価繰返し回数法 (Neg. 法) : Fig. 1(a) の L_{max} の最大振幅を持つランダムな荷重は、 $a_1 \times L_{max}$ (通常 $a_1 = 0.65$) の振幅を持つ Neg. 回の一様振幅荷重と等価である¹⁾。

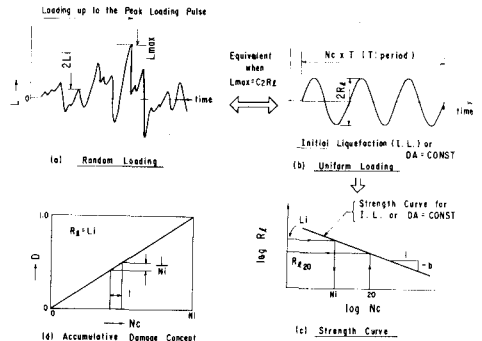


Fig.1. Equivalent Strength and Accumulative Damage

(2) 等価強度法 : Fig. 1(a) の L_{max} の最大振幅を持つランダム荷重に対して破壊する供試体は、 L_{max}/C_2 の振幅を持つ Q_2 回の一様荷重 (Fig. 1(b) 参照) でも破壊する²⁾。石原³⁾ は Q_2 として 20 回を採用した。そこで、例えば振動三軸試験において、繰返し回数 $N_c = 20$ 回における破壊 (液状化) 応力比 $R_{L20} = (\sigma_{dp}/2\sigma'_c)_{20}$ によって定義された強度を R_{L20} であらわせば、次の式が成り立つことになる。

$$R_{L20} = (1/C_2) L_{max}. \quad \text{--- (1)}$$

(1) と (2) の方法は、実は同じメダルの表と裏であり、本質的には同じことである。ここでは (2) 法をとり、Donovan の蓄積被害 (Accumulative Damage) の概念に基づいた Annakai らの方法を発展させることによって、 C_2 を簡単に求める方法について述べる。結果的に言うと、 C_2 はランダム波のランダム性と、動的試験による $R_L = \sigma_{dp}/2\sigma'_c$ と N_c の両対数グラフ上の傾き b (Fig. 1(c) 参照) の関数となる。

◆ C_2 についての式の誘導 ◆

Fig. 1(c) に示したように R_L と N_c が両対数グラフ上で直線となる場合、 N_i の繰返し回数で破壊するような一様振幅荷重 L_i は、 R_{L20} を用いて次式で表される。

$$L_i = R_{L20} (N_i/20)^b \quad \text{--- (2)} \quad , \quad b = -0.1 - 0.1 \log_{10} DA \quad \text{--- (3)}$$

振動三軸試験での軸歪の両振幅 (DA (%)) で破壊を定義すれば、(3) 式が実験的に成り立つようである³⁾。

Fig. 1(d) に示すように $D=1$ が破壊であるようなパラメータ D を定義すれば、 $R_{L20} \times 20$ と $L_i \times N_i$ が $D=1$ に対応する荷重である。ここで、各繰返し回数ごとに D が線型に蓄積されてゆく仮定すると、ある1回の載荷に対する $D = D_i$ は (4) 式で表すことが出来る。次に、ランダム波の種類 i の L_i を持つ波から構成されてい

$$D_i = \frac{1}{N_i} \quad \text{--- (4)} \quad , \quad D = \sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N_i} \quad \text{--- (5)}$$

るとすれば、1つのランダム波全体に対する D は D_i の合計であり、 D_i の線型和が成り立つとすると (5) 式が成り立つ。一方、(1) 式を満たす L_{max} を有するランダム波に対しては $D=1$ であるから、(1) 式、(2) 式、(5) 式から、 $D=1$ として (6) 式が得られる。(6) 式を変形すると (7) 式が得られる。

$$1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{20} \left(\frac{L_i}{L_{max}/C_2} \right)^{-\frac{1}{b}} \quad \text{--- (6)} \quad , \quad C_2 = \left[\frac{1}{20} \sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{L_{max}} \right)^{-\frac{1}{b}} \right]^b \quad \text{--- (7)}$$

◆ 実験値との比較 ◆

石原、安田²⁾が実験的に C_2 を求めるのに用いた地震動記録を Table 1 に示す。表中に示す L_i/L_{max} の値の分布を用いて、 C_2 を b の関数として (7) 式に従って計算した結果が Fig. 2 である。図中の full loading とは、地震動記録全体で計算したものであり、loading up to peak とは、 L_{max} までの地震動記録のみにして計算したものである。この図から次の事がわかる。i) C_2 は b の関数である。ii) $C_2 \sim b$ 関係は地震動記録のランダム性によって異なる。Shock 波タイプ²⁾である 1、2 の地震動記録では、 C_2 は b の値によって大きく変わるが、Vibration 波タイプ²⁾である地震動記録 5、6、7 では、 C_2 は b の値によらずほぼ一定である。iii) L_{max} までの地震動記録のみによる C_2 の方が全体の地震動記録による C_2 より大きい。

Fig. 3 は (7) 式の有効性を石原、安田²⁾の実験データでチェックしたものである (b は石原、安田²⁾によると -0.24 である)。実験による C_2 の方が (7) 式による C_2 よりやや大きい。これは、ピーク (L_{max}) 後の載荷による D の蓄積の仕方が、ピーク (L_{max}) 前の載荷による D の蓄積の仕方より実際には小さいためと思われる。即ち (7) 式の基になっている仮定の不適切によるものと思われる。

Fig. 4 は (7) 式による C_2 を与えられたランダム波に対して簡単に求める方法を示したものである。図中の Average curve は Table 1 のデータを用いて計算した結果によるものである。

Fig. 4 は (7) 式による C_2 を与えられたランダム波に対して簡単に求める方法を示したものである。図中の Average curve は Table 1 のデータを用いて計算した結果によるものである。

◆ 参考文献 ◆

- 1) Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," Jour. of SMF Div. ASCE, Vol. 97, No. SM9.
- 2) Ishihara, K. and Yasuda, S. (1975), "Sand Liquefaction in Hollow Cylinder Torsion Under Irregular Excitation," Soils and Foundations, Vol. 15, No. 1.
- 3) 岩崎敏男、龍岡文夫、安田直 (1978), "不攪乱砂質土の非排水動的強度の正規化表示," 第13 回土質工学研究発表会

Table 1. Earthquake Motions Used in Analyses

No.	Symbols	Earthquake (Magnitude)	Record Site (Component, Δ = epicentral distance (km), α = maximum acceleration (gals))	C_2 by Test by Ishihara and Yasuda (1975)	Number of Loading Pulse in the range of L_i/L_{max} *										
					L_i/L_{max}	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}
1	○	Niigata (7.5)	Kawagi-sha-cho (NS, $\Delta = 51$, $\alpha = 155$)	1.85	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	5 (5)	5 (5)	14 (14)	9 (9)	11 (11)	
2	●		(EW, $\Delta = 51$, $\alpha = 159$)	1.89	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (2)	3 (3)	8 (8)	5 (5)	13 (13)	13 (13)	
3	△	Tokachioki-Main Shock (7.9)	Hachinohe (NS, $\Delta = 189$, $\alpha = 235$)	2.00	1 (1)	0 (0)	0 (0)	3 (3)	0 (0)	5 (5)	5 (5)	20 (20)	40 (40)	84 (84)	146 (146)
4	×	Muroran (NS, $\Delta = 196$, $\alpha = 95$)		1.61	1 (1)	0 (0)	0 (0)	2 (2)	4 (4)	7 (7)	3 (3)	14 (14)	28 (28)	70 (70)	154 (154)
5	□		(NS, $\Delta = 193$, $\alpha = 56$)	1.41	1 (1)	2 (2)	4 (4)	5 (5)	6 (6)	12 (12)	15 (15)	14 (14)	16 (16)	45 (45)	48 (48)
6	■		(EW, $\Delta = 193$, $\alpha = 86$)	1.41	1 (1)	0 (0)	5 (5)	4 (4)	3 (3)	5 (5)	8 (8)	13 (13)	20 (20)	53 (53)	88 (88)
7	◇	Tokachioki-After Shock (7.2)	Hachinohe (EW, $\Delta = 194$, $\alpha = 30$)	1.47	1 (1)	0 (0)	0 (0)	3 (3)	6 (6)	12 (12)	14 (14)	22 (22)	39 (39)	68 (68)	52 (52)

* Figures in parentheses are the number of loading pulse up to the peak value

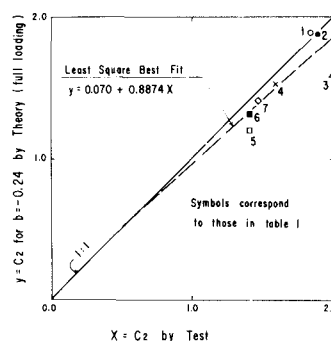


Fig. 3. Comparison of C_2 between Theory and Test

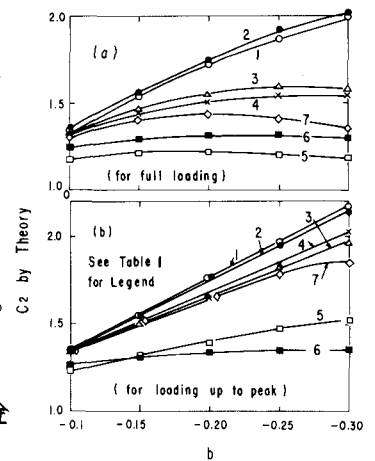


Fig. 2. C_2 by Theory Affected by b

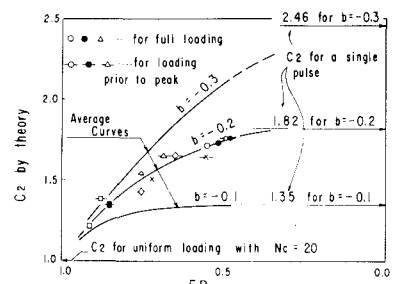
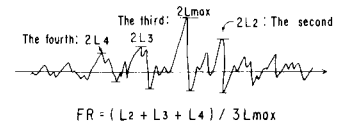


Fig. 4. C_2 Affected by Randomness in Random Loading