

北海道開発局 土木試験所 正会員 加賀屋 誠一
北海道開発局 土木試験所 逢坂 秀俊

まえがき

最近、橋梁構造物の耐震設計法について、従来の静的震度法から、動的な諸常数を導入した修正震度法の考え方が採用されつつある。これら動的な諸常数を簡略かつ適確に算出するための一つの方法として、現場の振動試験が実施されており、本報文も今まで実施された振動試験で得られた基礎構造物の動的な特性について、その結果を紹介するとともに、二つの検討を加えてみた。

1 試験概要

試験は、表-1のような8カ所の現場で、主に起振機による強制振動試験と実施し、また、現場Cと現場Fでダイナミットを用いた人工地震による振動試験を実施した。

強制振動試験は、図-1のような単グイと組グイの4つのTYPEについて行なった。各現場の組グイのTYPEは、表-1に示した通りである。また同表には、基礎グイの諸元、土質状態、組グイ間隔D、基礎の寸法D×B×h、TYPE

表-1 対称現場の概要

現場	グイ諸元	土質状態	組グイ間隔D	基礎の寸法D×B×h	TYPE
A	φ600 $l=45.0$ m $t=12$	粘性土 32.8m N=50	3.27 直斜	7.2×30×1.7	2
B	φ800 $l=40.0$ m $t=12$	粘性土 砂層 N=50	3.96 直直	7.2×26×1.7	2
C	φ1000 $l=23.0$ m $t=16$	砂質土 N=30	3.2×3.2 $n=3$	1.4×7.8×2.1	4
D	φ500 $l=25.0$ m $t=14$	腐食土 砂質土 N=30	2.90 直直	4.7×1.4×0.8	2
E	φ600 $l=35.0$ m $t=14$	シルト 砂質シルト	2.10 直斜	5.0×1.2×0.8	2
F	φ400 $l=24.0$ m $t=9.5$	腐食土 砂質土 N=30	I $n=4$ 直直 II $n=3$ 直直	2.3×1.4×0.8 1.8×1.4×0.8	3
G	φ1270 $l=33.0$ m $t=14$	砂質土 土層 N=30	3.5 直直	6.8×2.8×2.0	2
H	φ600 $l=53.0$ m $t=12$	腐食土 シルト土 N=50	2.5 $n=4$ 直直	3.55×4.9×3.0	2

である。また同表には、基礎グイの諸元、土質状態、組グイの間隔、およびフーキングの大きさなども示してある。

2 試験結果

表-2は、強制振動試験結果を、共振振動数、および減衰定数についてまとめたものである。

単グイと組グイを比較してみると、共振振動数は、一般に単グイの方が組グイより高くなっているが、FとGは組グイの方がかなり高くなっている。これは、Fは鋼管矢張タイプで、基礎の剛性がかなり大きくなっているため、またGは、現場打ちRCグイで、鋼管のようなたわみ性の基礎と異なった振動性状をもつためと考えられる。

表-3は、静的載荷試験による変位と、共振時変位の関係を示したもので、応答倍率の計算値は、減衰定数より求めた値である。実際値と計算値を比較すると、Eを除きかなり近い値を示していることが分かる。このことより、減衰定数を仮定すると、静的変位より、動的変位の推定ができるものと考えられる。

表-2 強制振動試験による単グイ、組グイの諸常数

諸常数 現場	単グイ		組グイ		ダイナミットによる 振動試験 共振振動数 減衰定数
	共振振動数	減衰定数	共振振動数	減衰定数	
A	5.0 Hz	0.06	4.0 Hz	0.20	
B	8.0	0.06	5.5	0.15	
C	5.5	0.05	2.1	0.10	2.7 Hz 0.18
D	6.8	0.11	7.5	0.25	
E	7.0	0.07	—	—	
F	4.5	0.09	I 7.0 II 8.0	0.15~0.18	2.5 Hz 0.20
G	8.0	0.07	12.0	0.15	
H	—	—	4.0	0.10	

図-1 基礎形式

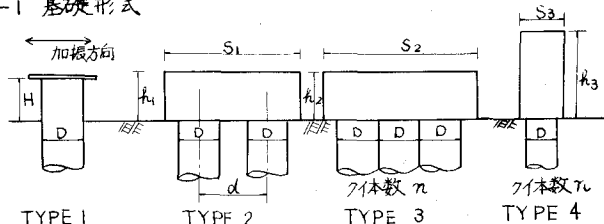


図-2は、単グイ、図-3は、組グイの強制振動試験における共振変位と起振力の関係を図示したものである。これによると、変位と起振力は、 $y = Af^b$

上にプロットされることとなる。(y:共振変位、F:起振力、A、bは定数)

3 バネ定数の検討

次に、振動方程式がどの程度、振動試験結果に適合性があるか、1質点系振動方程式、およびロッキング振動の方程式によって得られるバネ定数(それぞれ k_1 、 k_2)を実測値より求めたバネ定数と比較してみた。なお、導かれた方程式と、バネ定数は次のとおりである。

i) 1質点系振動方程式

図-2 単グイ共振変位～起振力の関係

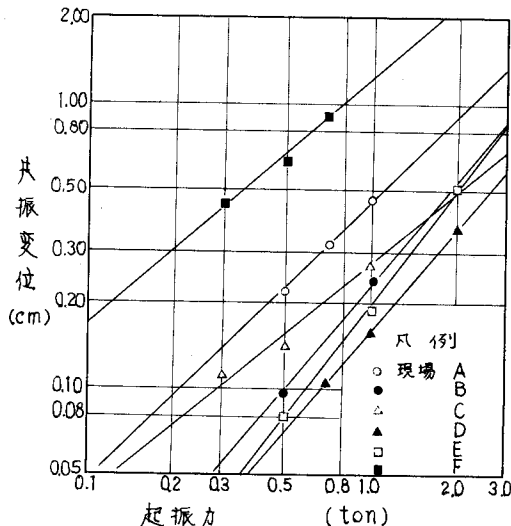
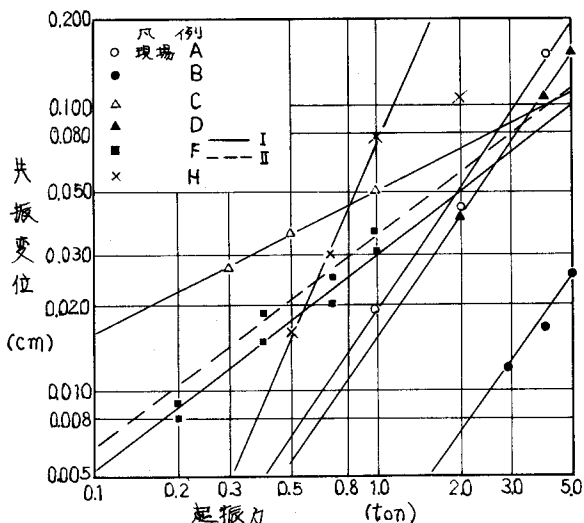


表-3 静的変位と動の変位の関係

現場	実測値	変位1cmの 実測値		実測値
	計算値	静的変位	動的変位	変換値
A	8.33	0.03	0.23	7.67
B	8.33	0.03	0.24	8.00
C	10.00	0.04	0.30	7.50
D	4.54	0.15	0.45	3.00
E	7.14	0.07	0.18	2.57
F	5.56	0.18	1.10	6.11
G	7.14	0.028	0.225	8.03

図-3 組グイ共振変位～起振力の関係



$$\ddot{x} + 2p\dot{x} - p^2x = F \exp(i\omega t) \quad \text{ただし } p = \sqrt{k/m} \quad R = C / 2\sqrt{mR}$$

m:質量 k :バネ定数 C :粘性係数 F :外力 ω :正弦波外力の振動数

ii) ロッキング振動による式

表-4 単グイバネ定数の検討

現場	実測値 F/y	計算値 $R_1=mp^2$	実測値	計算値
A	2.22×10^3	2.80×10^3	0.80	
B	4.59×10^3	5.94×10^3	0.77	
C	3.38×10^3	2.98×10^3	1.13	
D	5.26×10^3	4.56×10^3	1.09	
E	5.61×10^3	4.83×10^3	1.16	
F	0.96×10^3	1.88×10^3	0.51	

$$m\ddot{u} + k_1(u + R\theta) = -m\ddot{z}_0$$

$$m\ddot{v} + 2Rv = 0$$

$$I_0\ddot{\theta} + (2Rb^2 + k_2R^2)\theta - k_1Ru = 0$$

(m :質量, k_1 :水平方向バネ定数, k_2 :垂直方向バネ定数, $\ddot{z}_0$:外力, I_0 :フーチング中心のまわりの慣性モーメント, b :フーチング幅の1/2, R :フーチング高さの1/2)

又上から、 k_1 、 k_2 を求めると、 $k_1 = mp^2$ (p :固有円

振動数)、 $k_2 = (-p^2 I_0 M + 2p^2 R b^2) / (-p^2 M R^2 - p^2 I_0 + 2k_1 b^2)$ となる。

表-4は、単グイの試験結果であるが、実測値と計算値についてみると、C、D、Eがほぼ等しい値を示しているのに対して、A、B、Fの実測値がやや小さめに

表-5 組グイバネ定数の検討

現場	実測値 ①	計算値 ① k_1	計算値 ② k_2	①/②	②/①
A	4.58×10^4	4.17×10^4	4.08×10^4	1.10	1.12
B	3.07×10^5	9.59×10^4	9.33×10^4	2.16	2.22
C	6.55×10^4	3.77×10^4	6.57×10^4	1.74	1.00
F	I 1.25×10^4	1.92×10^4	1.60×10^4	0.65	0.78
G	II 6.54×10^3	1.21×10^4	9.55×10^3	0.54	0.65
H	9.09×10^4	7.11×10^4	7.38×10^4	1.28	1.23

出ている。これは地盤が軟弱なため起振力に対して変位が大きくなっており、測定精度によるものと考えられる。表-5は、組グのバネ定数の検討であるが、Bは、振動時の付加質量の影響によるもの、またCは、ロッキング振動の影響が強く現われていると考えられる。

また、図-4は、単グイの共振振動数と、グイ幅、突出長さの関係を示したものである。

はりの曲げ振動では、 $f = \alpha (D/l)^2$ の関係が導き出されるが、この場合最小乗法によって算出した式は、 $f = 5.22 (D/l)^2 + 4.60$ (f : 共振振動数 (Hz), D : グイ径 (cm), l : グイ突出長 (cm)) となった。

4. まとめ

以上の結果をまとめると次のようなことが言える。

i) 単グイに比べ組グイの方が一般に共振振動数が大きく、減衰定数も大きい。フーティングの大きさの大きいほどこの傾向は顕著である。

ii) 組グイに比べ単グイの方が、1質点系の振動方程式の適合性が大きい。組グイの場合、フーティングの大きさが大きいほどロッキング振動の方程式の適合が大きいと考えられる。

iii) 単グイの場合、固有振動数は、径 D の2乗と突出長さ l の2乗で除したものの D^2/l^2 との相関性が高い。

おわりに

今回用いた現場は、8現場で動的土性状、あるいは傾向をとらえるためには、今後さらに他現場で同様の試験を実施し検討する必要がある。また、現行行なわれている振動試験の特性を把握し、各振動試験の関連性を見出して、最も簡便に、最適な設計データが得られる試験法を確立していく必要がある。さらに今後は、下部工の振動試験、および上部工を含めた試験を合わせて実施し、基礎の動的性状との関連性を検討していきたい。

参考文献

- 田辺 宏 ; 建築振動学 コロナ社
- 阪本 他 ; 耐震設計編 橋梁と基礎 1971年 10月
- 栗林 他 ; 構造物の地震応答解析法(1)~(6) 土木技術資料 8-11~9-5
- 土木学会編 ; 地震応答解析と実例

