

北海道開発局 土木試験所 正員 野口 義敬

〇〇 加賀屋 誠一

〃 逢坂 秀俊

まえがき

近年、橋梁基礎構造物の耐震設計法の発達とともに、動的諸定数（固有振動数、減衰定数、動的K値etc）を簡略かつ適確に判別する方法の1つとして現場での振動試験が実施されている。本報文も現在まで実施された基礎ぐいの各種振動試験結果に基づき、試験の特性と、基礎ぐいの動的挙動について検討を加えたものである。

1 試験概要

振動試験は、表-1のようなジャンクション付きの単ぐい、およびス〜4本の連続鋼管ぐいと、補剛板付きの

異型鋼管ぐいについて

行ない、試験方法として、起振機を用いた強制振動試験、およびダイナミトを用いた振動試験を考えた。

対象くい打設現場は、

図-1に示すように、

泥炭性軟弱地盤が、深

く分布しており、軟弱

層のS波速度は、ほぼ

100〜150 m/secと考

えられ、長ぐいの先端

は、N値20〜30の砂層に達している。

2 起振機による強制振動試験結果

強制振動試験は、くい頭に起振機を設置し、起振力を一定とし振動数を任意に変えながらくいに生ずる加速度を測定し、その結果より換算された振幅と振動数の関係をプロットすることにより共振曲線を作成した。その結果、共振振動数、および減衰定数についてまとめたのが表-2である。くいの形状により、共振振動数の値には大きな差は見られないが、単ぐいに比べ組ぐいの方が大きく、減衰定数も同様の傾向が見られた。くいの剛性、およびくい幅式、どのような影響を与えるか検討するために、Changの理論による第1不動点付近を固定端とした曲げ振動を考え、固有振動数を求めると(1)式となる。(1)式により求めた固有振動数が表-2の計算値Aである。また実際に求めた起振力と変位より1質点系の振動方程式で求めた固有振動数(2)式とし、同様に算出すると計算値Bとなる。

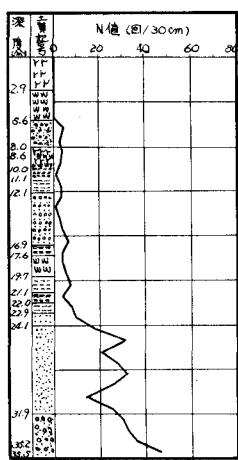
$$\omega_n = \alpha n^2 / l^2 \cdot \sqrt{gEI/w} \quad \dots (1)$$

$$\omega_0 = \sqrt{k/m} \quad k = F/y \quad \dots (2)$$

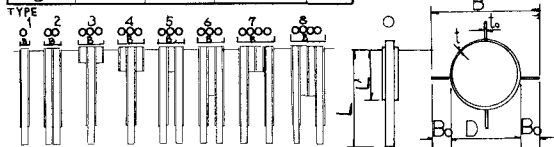
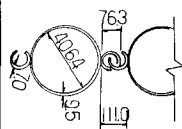
l ；くいの換算長さ、 EI ；くいの曲げ剛性、 w ；くいの単位長さ当たりの重量、 g ；重力加速度、 m ；くいの質量、 F ；起振力、 y ；その時の振幅、 α_n ； n 次の振動形

この結果により、実測値と計算値は、かなり近似性が高い

図-1 原位置試験測定結果



TYPE	B cm	L/L m	I cm	記号
1	55.9	—/234	23500	○
2	107.6	—/	46700	◇
3	159.4	34/	70670	△
4	"	54/	"	▲
5	"	" /	"	
6	"	114/	"	
7	211.1	54/	93850	
8	"	114/	"	



TYPE	D cm	t mm	B cm	B ₀ cm	B _m cm	L/L m	I cm	記号
1	40.6	9.5	606	10.0	9	39/234	34700	●
2	"	"	806	20.0	9	" /	56900	■
3	"	"	1006	30.0	9	" /	93700	□

表-1 試験ぐい諸元

測定方法	共振数	共振振動数	計算値 A	計算値 B	減衰定数
TYPE 1	4.5 ^{Hz}	5.3 ^{Hz}	4.9 ^{Hz}	0.15	
2	5.5	5.0	6.9	0.27	
3	5.5	7.0	5.8	0.25	
4	5.5	6.5	7.0	0.32	
5	4.7	4.5	4.6	0.26	
6	4.7	4.3	4.5	0.26	
7	5.0	5.5	5.1	0.25	
8	5.3	5.2	5.4	0.16	
a 1	4.5	4.9	5.2	0.24	
a 2	4.5	4.7	5.3	0.19	
a 3	5.5	4.4	5.9	0.15	

表-2 強制振動試験によって求められた諸定数

ことが分った。

図-2は、共振時変位と載荷幅の関係を示したものである。これによると共振時の変位は、くいの幅と $y = a \times b$ の関係があることが分り、くい幅が増加すると、共振時の変位が減少することが示された。また、くいの断面2次モーメントでも同様の関係が得られた。

図-3、図-4は、Changの式を用いて共振時の逆算K値を算出し、共振時の地表面地盤のくいの変位との関係を示したものである。図-3は、単ぐい、図-4は、組ぐいの値であるが、単ぐいの場合、変位の大小に関係なくほぼ一定した値 ($0.06 \sim 0.10 \text{ kg/cm}^2$) が得られ、組ぐいの場合、変位が大きくなると、K値も小さくなる傾向があることが分った。

動的試験の場合、載荷時間が短時間であり、地盤のクリープ変形が、長期載荷の静的試験に比べ小さいことが考えられ、また、載荷幅が大きい組ぐいの場合、振動の影響範囲が大きいために周辺部地盤の付加的挙動が大きくなり、地盤反力が減少したと考えられる。また静的試験によって得られた静的K値と比較すると、単ぐいでは、9～12%、組ぐいでは、22～40%という値が得られ、組ぐいより、単ぐいにおいて大きなK値の低下が見られた。

3. ダイナマイトによる振動試験結果

基礎構造物の応答解析に、疑似地震動の一つであるダイナマイトによる振動試験がどのように適用できるか検討するために、同一現場において試験を行ない、地盤と、基礎ぐいにおいて波形の記録を行なった。自然地震波と、人工地震波において、その性格上、発生源、規模、地動の継続時間などで数々の相違が考えられる。自然地震波の場合、地層の移動によるひずみエネルギーの蓄積、放出による深度10～数100kmを発生源にもつ規模が大きな波であり、人工地震の場合は、深度数10mでの火薬の爆発を震源にもつ規模の小さな波である。震源の深さと、規模の違いは、波の伝播状態、波の継続時間に大きな影響を与え、波形記録を見ると、自然地震波の場合、数10秒の地動が、人工地震波の場合、10秒以下の記録にとどまる。また、加速度の大きさも、前者の場合数100 galとなるが、後者の場合、規模にもよるが数10 galの記録の場合が多い。これらの場合相似の問題で解決できるが、波の基礎、さらに地盤への反射、屈折作用などの影響によるランダム波の形の違い、さらにいろいろな表面波の再現性などにおいて、検討する問題があるといえる。

しかしながら、その周期性、あるいは、P波、S波の再現性が可能である点において比較的簡易な試験法であり地震入力波としての適用性があると考えられる。

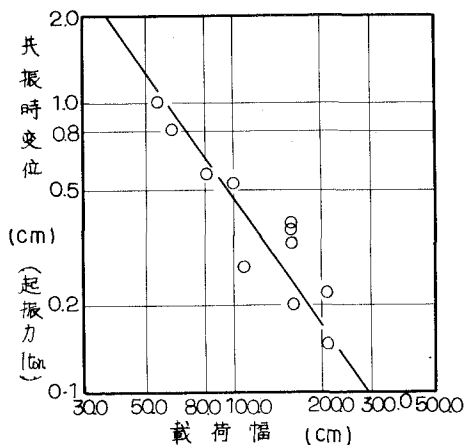


図-2 共振時変位と載荷幅の関係

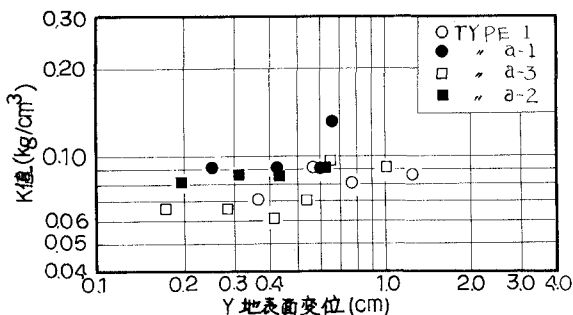


図-3 共振時逆算K値と地表面変位の関係

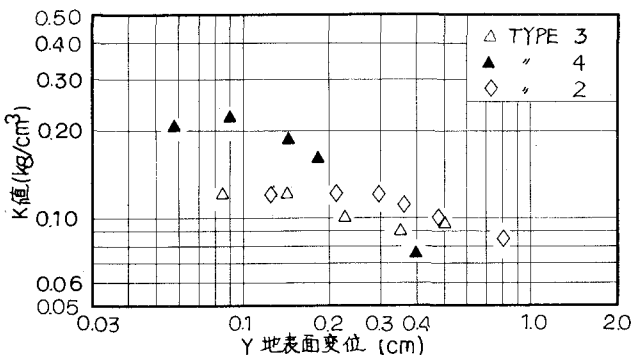


図-4 共振時逆算K値と地表面変位の関係 (組ぐい)

現場において、爆発深さ、震源距離、薬量を変え試験を実施したが、振動特性としてはほぼ同様な結果が得られたので、表-3には、深さ12m、薬量7.5kg、震源距離250mとして得られた波形のスペクトルにより求めた各定数である。また、図-5は、地盤の3つの振動計による、震央直角方向のスペクトルをまとめたものである。この結果、卓越する振動数は、2.4~2.6 Hzにあり、2次の振動数は、5.2~5.5 Hzにあると考えられる。また対象ぐいのスペクトルにおいてもほぼ同様の特性が認められたことより、振動波形で最も大きな影響を及ぼすと考えられるS波に対する地盤の応答特性が、基礎ぐいにも同様に影響を与えたことがわかる。

図-6は、振動試験による地盤のスペクトルと同一地点における常時微動のスペクトルを前述の現場と、他の1現場において比較したものである。これより、2つのスペクトルにはかなり高い相似性が認められた。

まとめ

i)強制振動試験結果より算出した動的K値は、静的K値に比べかなり小さいことが分り、動的作用力に対して地盤の抵抗は、組ぐいより単ぐいに対して減少の割合が大きい。

ii)地盤の抵抗が小さいことより、ぐいの剛性の違い、載

荷重の違いによる振動特性への影響は、曲げ振動理論や、振動方程式などの適用によってかなり大きいことになった。

iii)ダイナマイトによる振動試験で得られたスペクトルは、S波と考えられる成分の影響を受け、地盤より伝達

測定点	測定数	卓越振動数	減衰定数
地盤上	S	2.4 Hz	0.15
	S	2.6	0.10
	V	2.4	0.08
TYPE 1	S	2.6	0.20
	2 S	2.6	0.07
	4 S	2.8	0.07
	P	2.4	0.12
	V	2.4	0.10
TYPE 6	S	2.8	0.09
	P	2.4	0.10
	V	2.4	0.15
TYPE 7	S	2.6	0.09
	V	3.1	0.11

表-3 ダイナマイトによる振動試験結果

された周期特性がそのまま基礎ぐいの周期特性において支配的となる。

iv)人工地震波と常時微動において周期特性は、かなり高い相似性を有し今後耐震設計法への適用が十分考えられる。

あとがき

今回は、2つの振動試験の主に現象面を考えた

が、2つの振動試験の最も異なる点は、振動発生源の違いである。このため基礎ぐいの振動特性を直接判別する方法である強制振動試験と、その応答を検討する人工地震波による振動試験の特徴をより明確にし、また特性とそれに対する応答の相関性に対して検討を深めて行きたい。

参考文献

- i)磯部 考：相関函数およびスペクトル 東大出版会
- ii)小坪清真：土木振動学 森北出版

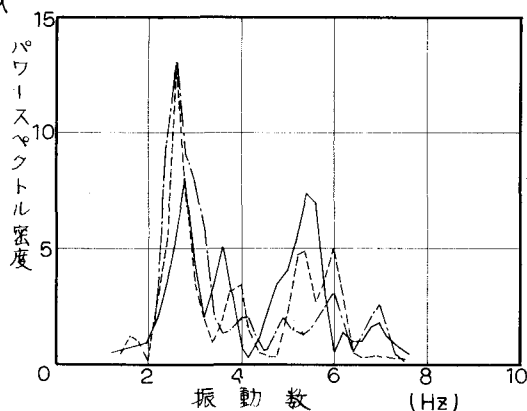


図-5 人工地震波による地盤のスペクトル

図-6 人工地震波と常時微動のパワースペクトル図

