

土 木 研 究 所 資 料

第 1159号

多柱式基礎に関する実験研究の概要

昭和51年3月

建設省土木研究所

まえがき

多柱式基礎は一種のくい基礎であり、水面上に複数本のくいを立ち上げ、その頭部を頂版（footing）で構築し基礎とするもので、流速の大きい河川や潮流の激しい海洋、あるいは軟弱層が厚く締切が不可能とされる地盤を対象に使用されることが多い。この基礎が使用されている橋の規模は、比較的大きく、中スパンから大スパンの橋の基礎に使用されている。大規模なものとしては、日本道路公団が施工した大島大橋があり、さらには本州四国連絡橋公団が橋長1,600m余りの吊橋基礎に直径7mの多柱式基礎を検討している。

一方パイルベント基礎は、くいを水上あるいは地上に立ち上がらせその頭部を横ばりで結合させた基礎形式であり、多柱式基礎と形式は類似であるがくい列は通常の場合橋軸方向に一列である。この形式の利点は多柱式基礎と同様であるが、橋軸方向に剛性が小さいので比較的小規模な橋に使用されている例が多い。

これら多柱式基礎とパイルベント基礎は、施工条件のかなり悪い箇所でも基礎形式としての適合性が大きいので、矢板式基礎と共に水中基礎としての使用頻度が高まると考えられる。

今回は前年度に行った矢板式基礎に引続き、多柱式基礎とパイルベント基礎についてこれまで行われた設計例、施工例、実験例について各々分冊の形でまとめることにした。本報告書は実験研究例についてまとめたものである。

本報告書の構成は、実験研究の内容から、次のように分類している。

- (1)振動実験……………基礎の振動特性（固有振動数、減衰定数等）
- (2)静的載荷実験………基礎構造の静力学的特性（荷重分担率、振り剛性、頂版剛性等）
- (3)構造解析……………設計計算法等

報告書を作成するにあたり対象とした実験研究は、建設省土木研究所、本州四国連絡橋公団、日本道路公団、県等が実施した11件である。

目 次

1. 実験研究の概要	1
1.1 振動実験	1
1.2 静的載荷実験	2
1.3 構造解析	2
2. 実験報告書の概要	3
2.1 振動実験	3
2.1.1 岐阜県青柳橋下部工載荷振動実験工事	3
2.1.2 群ぐいの模型振動実験	5
2.1.3 多柱基礎の振動実験	7
2.1.4 吊橋橋脚の耐震設計に関する研究	11
2.1.5 吊橋主塔、橋脚および地盤の模型振動実験および解析	12
2.1.6 大島大橋主橋梁（下部工）工事振動実験	15
2.2 静的載荷実験	19
2.2.1 多柱基礎水平載荷実験	19
2.2.2 本州四国連絡橋多柱基礎大型模型実験	20
2.3 構造解析	23
2.3.1 多柱基礎に関する計算	23
2.3.2 S R C構造に関する研究 （大型 S R C構造物の解析方法に関する基礎的事項）	25
2.3.3 S R C構造に関する研究（多柱支持の厚肉 S R C構造）	26
3. 参考文献	28

1. 実験研究の概要

1.1 振動実験

多柱式基礎は従来のくい基礎とは、次のような点で異なっており、これらは、本基礎の動的特性に大きく影響する要素となっている。

- (1)構造が可撓的である。
- (2)頂版が自由長を有する柱の上にある。
- (3)ねじり剛性が小さい。
- (4)岩盤上に構築される場合がある。

本報告書にて収集された実験報告の中で、実橋に対して振動実験を行ったのは、2.1.1、2.1.6の青柳橋および大島大橋についてであり、その他の2.1.2～2.1.5は、模型による実験である。

2.1.1の青柳橋では、振動実験の結果、地盤の水平バネ定数と固有周期の関係から柱の中詰コンクリート、グラウト工、ケーシング管の曲げ剛性が100%有効に作用しており、施工が十分行われたことが証明されたと報告されている。

2.1.2の実験では、一例として地盤の動的なバネは、静的なバネと違って変形の大さきにはあまり影響を受けないと考察されている。

2.1.3の実験では、実験結果から得られた振動性状（共振曲線、位相差曲線、振動数、減衰定数、バネ定数等）の検討により、多柱式基礎の場合でも見かけの減衰定数を想定することにより、一質点系の粘性減衰振動系と同様に取扱うことが可能であり、その場合、付加質量を適切に決める必要があると報告している。

2.1.4の実験では、特に地盤と構造系の応答特性に着目した研究が行われ、地盤係数の振動数特性、構造物への土の付加質量、地盤への逸散エネルギー、地震時における地盤挙動から、構造物の地震応答が近似計算できる一つのモデル化法を提案している。

2.1.5の実験では、地盤とケーソン基礎、多柱式基礎、アンカー基礎との模型によって、それらの振動性状を検討し、耐震設計の資料となるデータを得ている。減衰定数(h)は地震応答解析の結果によると、0.01とした計算値と実験値がよく一致すると報告されている。

2.1.6は、大島大橋の実橋による実験で付加質量および地盤バネ定数等を考慮した多質点系モデルによる理論解析と実験値がほぼ一致したと報告されている。理論解析のフロー図は、本報告文、P.18の図-19に示されており、今後、多柱式基礎の振動解析をする場合の一指標となると考えられる。

1.2 静的載荷実験

本報告書でとりあげた実橋及び模型による各種実験では、すべて静的載荷実験を実施している。

静的載荷実験でとりあげられる問題点として、荷重分担率および群ぐい効果等がある。荷重分担率は頂版の剛性、柱長、地盤のバネ定数が関係し、これらが影響し合っ
て決定されるものである。報告書2.2.1、2.2.2でその結果が得られている。特に2.2.2では、水平荷重分担率は、水平力に対して頂版剛性を大にするほど均一化し、鉛直荷重分担率は、頂版剛性のある値以上に大きくしてもその均等化の効果の増加する割合はそれほど大きくならないと報告している。群ぐい効果は、くい本数、くい径、くい間隔、地盤の性質、荷重の大きさなどが相互に影響するといわれている。

報告書2.1.3では、実験結果から、2本ぐい（くい径300mm、くい間隔2000mm）と9本ぐいの多柱式構造（くい径300mm、くい間隔900mm）を比較した場合、本数比が4.5であるのに対しバネ定数比は4.6となった。多柱のみかけのバネ定数は柱頭が固定条件を有する単柱の本数倍にはほぼ等しい値となり、群ぐい効果の影響は小さいという結果が得られたと報告されている。

1.3 構造解析

多柱式基礎は、通常の基礎と異なり、1.1で示したような特徴がある。そのため、構造解析をする場合、地盤のバネ定数、頂版の剛性の取扱いや、群ぐい効果の定量化等の未解明な点がある。この報告書の中でとりあげた実験例および解析例をみると、2.3.1では、特に地盤バネ定数の分布を矩形、三角形の各分布により、また、各くいの抵抗の度合を考え6ケースのバネ定数分布により解析を行っている。頂版の剛性は剛体と考える場合と弾性体と考える場合がある。

多柱式基礎の構造解析には、

- (1)従来のくい基礎と同じく頂版を剛体と考えた群ぐいの計算法
- (2)平面ラーメン計算法
- (3)立体ラーメン計算法

がある。報告書2.3.1では、平面ラーメン解析および立体ラーメン解析を行い模型実験用供試体の断面等を検討しており、2.3.2では、ラーメン供試体を使用した実験に対して軸力を考慮したタワミ角法による平面ラーメン解析、また、2.3.3では、柱軸方向変形を考慮した立体ラーメン解析を行い、実験値と計算値が良く一致すると報告されている。

また、2.2.2では、立体ラーメン解析を行った結果、実験体による変位、荷重分担率、断面力について解析値と実験値がよく一致したと報告されている。

2. 実験報告書の概要

2.1 振動実験

2.1.1 岐阜県青柳橋下部工載荷振動試験工事

1) 実験実施者

岐阜県 (委託者)、新日本製鐵㈱ (受託者)

2) 実験期間

昭和45年 8月～9月

3) 実験目的

青柳橋の実大下部工による橋脚全体の多柱基礎としての群ぐいの静的および動的挙動特性の把握をする事。

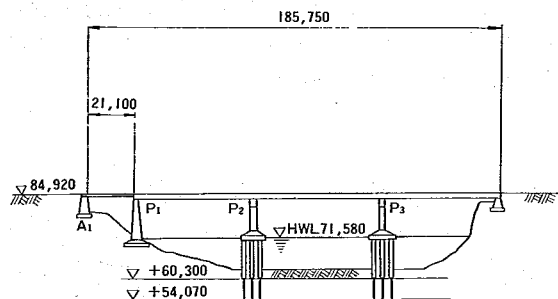


図-1 青柳橋概要

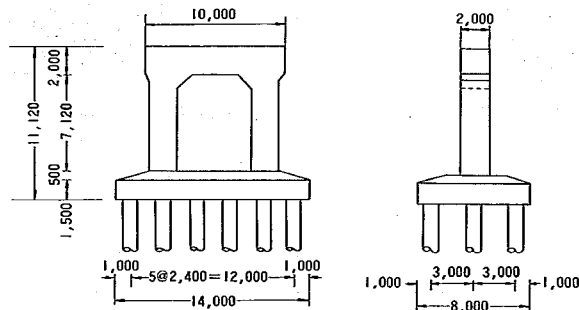


図-2 橋体一般図

4) 実験の種類

- a) 一方向静的水平载荷試験
- b) 自由振動試験
- c) 強制振動試験

5) 実験供試体形状

図-1, 2 参照

6) 測定項目

- a) 変位測定………ダイヤルゲージ
- b) 加速度測定……歪計型加速度計—動歪計—ビシグラフ

7) 実験結果

- a) 一方向水平荷重50ton時のフーチング位置の変位は、P₂橋脚で1.43~1.52mm、P₃橋脚は、図-3 のように2.32~2.44mmであった。
- b) 自由振動試験より P₂、P₃橋脚の固有周期、減衰定数は、表-1 に示す結果であった。
- c) 強制振動試験より、固有振動数は、橋軸方向および直角方向とも約2.4~2.5 c/s程度で、減衰定数は、0.004~0.008となっている。
- d) 実験結果と解析から（水平バネ定数、固有周期、減衰定数）は、図-4の基礎ぐいの中詰コンクリート、グラウトモルタル、ケーシング管、本管の曲げ剛性が100%有効に働いていることが判明した。

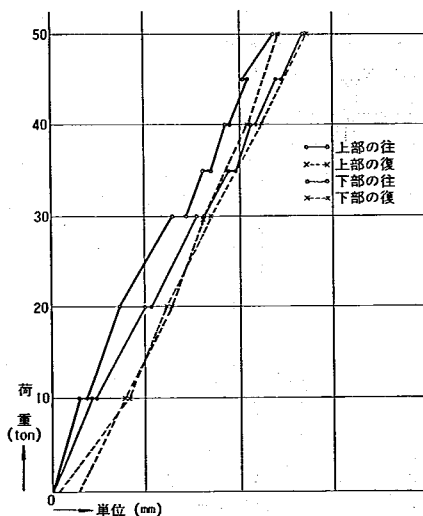


図-3 荷重—変位曲線

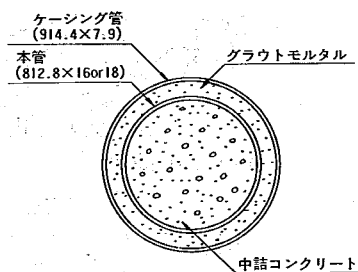


図-4 柱 (くい) 断面

表-1 自由振動試験結果

橋脚 種別 測定位置		P ₃				P ₂			
		固有周期 T(sec)		減衰定数 h		固有周期 T(sec)		減衰定数 h	
荷重		10ton	20ton	10ton	20ton	10ton	20ton	10ton	20ton
橋脚天端		0.388	0.395	0.0092	0.0083	—	0.301	—	0.0158
橋脚中央		0.388	0.398	0.0062	0.0067				
フーチング位置		0.385	0.395	0.0066	0.0076				
鋼管杭上部	5	0.383	0.394	0.0070	0.0087				
	6	0.383	0.394	0.0062	0.0088				
	9	0.407	0.418	0.0079	0.0080				
	10	0.408	0.417	0.0054	0.0070				
	11	0.406	0.413	0.0066	0.0088				
気管杭中間部		0.421	0.434	0.0059	0.0084				
鋼管杭下部		0.422	0.430	0.0010	0.0099				

2.1.2 群ぐいの模型振動実験

1) 実験実施者

建設省土木研究所(委託者)、新日本製鐵㈱(受託者)

2) 実験期間

昭和45年8月~46年2月

3) 実験目的

多柱式基礎の振動特性の調査

4) 実験の種類

- 頂版位置軸心自由振動実験
- 頂版位置偏心自由振動実験
- タワー天端位置軸心自由振動実験
- 頂版位置強制振動実験

5) 実験供試体形状

P.7の多柱式基礎水平載荷試験の供試体と同一のものを使用し、右図は、タワー天端自由振動実験の概要を示す。

6) 測定項目

- 加速度計による加速度測定
- 歪測定

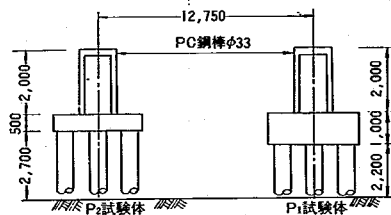


図-5 タワー天端自由振動実験

7) 実験結果

a) 固有振動数は、頂版位置軸心、偏心、自由振動の場合は、 $8.0 \sim 9.5 \text{ c/s}$ であり、タワー天端軸心自由振動では、 $7.8 \sim 8.5 \text{ c/s}$ であった。また、頂版位置強制振動での共振々動数は、 $7.5 \sim 7.85 \text{ c/s}$ であった。

b) 減衰定数は、自由振動実験の場合タワー、頂版の位置及び軸心、偏心により大きく差違がある。強制振動の場合は、ある程度一様の値が得られた。 $(0.066 \sim 0.087)$

図-6は、1 mの厚さの頂版の供試体についての軸心自由振動歪モードである。

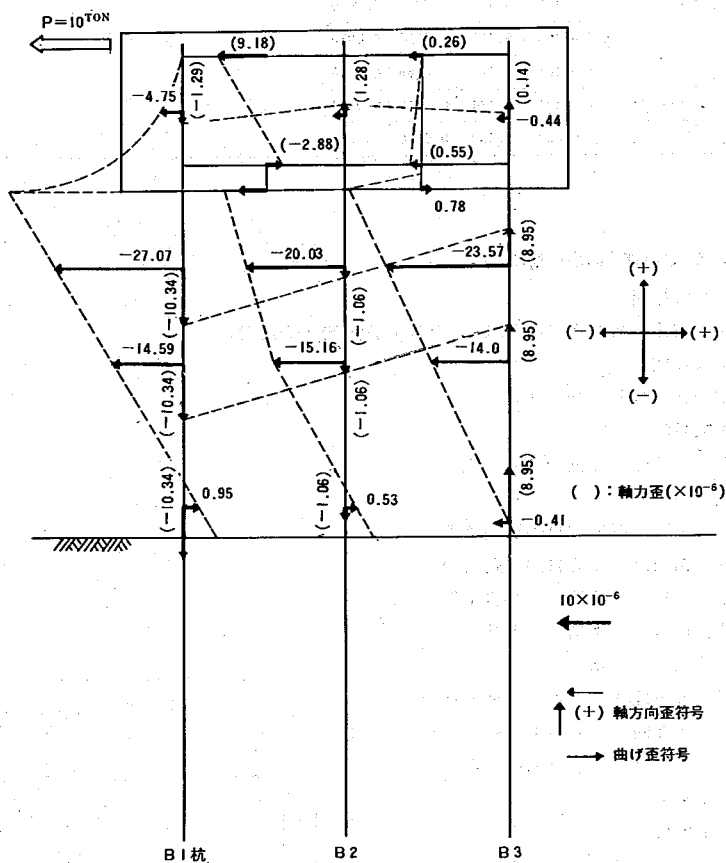


図-6 軸心自由振動歪モード

2.1.3 多柱式基礎の振動実験

1) 実験実施者

本州四国連絡橋公団（委託者）、東洋大学高田研究室（受託者）

2) 実験期間

昭和45年度～47年度

3) 実験目的

多柱式基礎の構造特性の把握

4) 実験の種類

- a) 水平方向静的載荷試験
- b) 自由振動試験
- c) 強制振動試験

5) 実験供試体形状

実構造物を対象としていないので相似率は考慮していない。

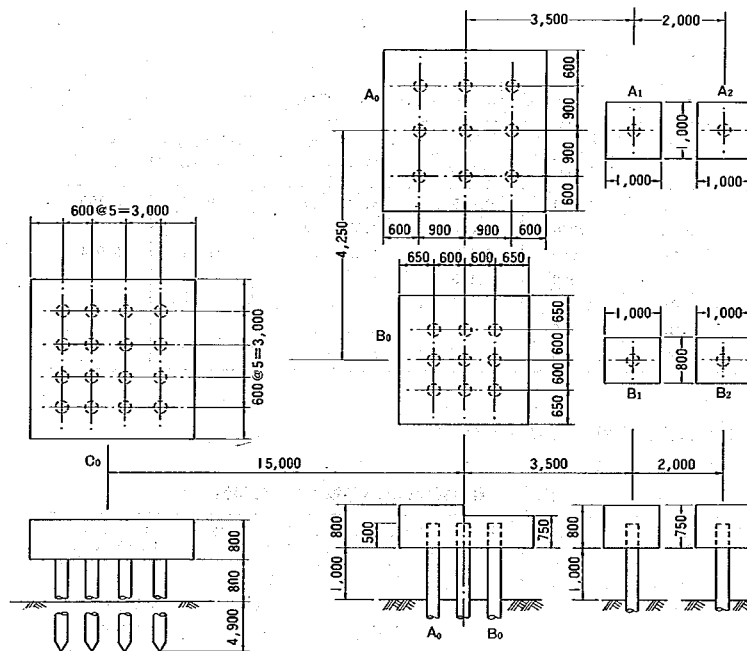


図-7 供試体設置状況

6) 測定項目

a) 水平方向静的載荷試験

水平荷重と水平変位関係

b) 自由振動試験

減衰定数、固有振動数（みかけのばね定数……算出）

c) 強制振動試験

○多柱式基礎本体の頂版に対する共振曲線

○多柱式基礎の共振時および共振前後における地盤と単柱の振動状況

○起振力に対する多柱頂版、単柱頂版および地盤の位相差の変化状態を測定、
とくに換振器の設置位置と起振力の振動数との関係

d) 測定場所

ひずみ（くい）、加速度計、速度計（頂版および地盤）、水平変位（頂版）

7) 実験結果

a) 水平方向静的載荷試験（表－2 参照）

表－2 静的載荷試験によるみかけのばね定数(単位：kg、cm)

供試体 種類	試験結果		みかけのばね定数 (k ₂) mean	固有振動数 f ₂ (Hz)	減衰定数 h ₂
	最大荷重p	最大変位a ₀			
A ₀	4,700	0.045	8.043×10^4	9.86	0.105
A ₁ + A ₂	1,250	0.068	2.039×10^4	10.88	
A ₁	650	0.140	4.494×10^2	7.54	0.034
A ₂	650	0.138	4.158×10^3	7.56	
B ₀	4,700	0.128	3.378×10^4	8.46	
B ₁	215	0.105	2.022×10^3	6.05	
B ₂	215	0.107	1.556×10^3	6.05	

b) 自由振動試験（表－3 参照）

表－3 自由振動による供試体の動的特性

供試体 種類	減衰比 ν	固有振動数 f _{D1}	減衰定数 h _{D1}	ばね定数 k _{D1} (kg/cm)
A ₀	1.196	8.41	0.0285	6.962×10^4
A ₁ + A ₂	1.280	9.58	0.0392	1.593×10^4
A ₁	1.084	7.32	0.0128	4.280×10^3
A ₂	1.036	7.50	0.0055	4.440×10^3
B ₀	1.380	7.87	0.0513	3.715×10^4
B ₁ + B ₂	1.160	8.82	0.0235	9.820×10^3
B ₁	1.048	5.58	0.0077	1.720×10^3
B ₂	1.060	5.71	0.0092	1.800×10^3

c) 強制振動試験

○ 共振曲線 (図-8 参照)

○ 振動数の変化に伴う地盤と各供試体の振動状況 (図-9 ~ 図-11 参照)

○ 起振力に対する供試体および地盤各部の位相差 (図-12 参照)

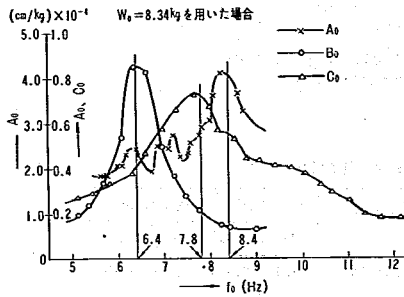


図-8 供試体A₀、B₀、C₀に対する共振曲線

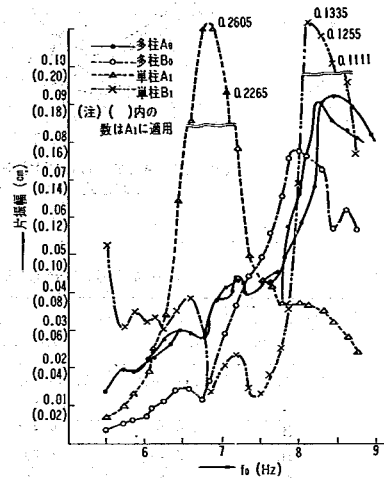


図-9 供試体A₀加振時における隣接柱の挙動

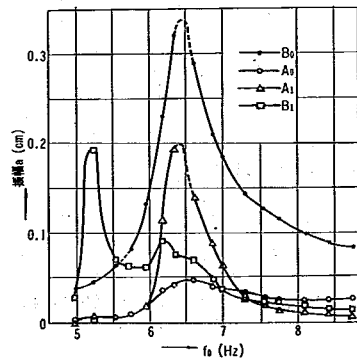


図-10 供試体B₀加振時における隣接柱の挙動

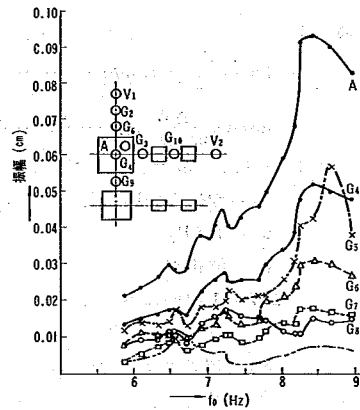


図-11 供試体A₀加振時における地盤の挙動(Gは地盤上の加速度計の配置位置を示す)

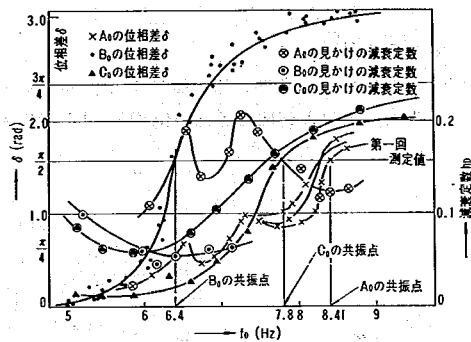


図-12 A₀、B₀、C₀に対する位相差曲線と見かけの減衰定数 (W₀=8.34kgの場合) h_{D3}

表-4 強制振動による供試体の動的特性

供試体種類	固有振動数 f _{D2} (Hz)	見かけのばね定数 k _{D2} (kg/cm)	見かけの減衰定数 h _D	
			(1)式による	(2)式による
A ₀	8.41~8.25	5.86×10 ⁴ ~5.64×10 ⁴	0.04~0.20	0.10~0.20
A ₁	6.75	3.40×10 ³		
B ₀	6.40	2.885×10 ⁴	0.035~0.065	0.05~0.10
B ₁	5.40	1.70×10 ³		
C ₀	7.80	4.314×10 ⁴	0.04~0.21	0.06~0.20

表-4 にて(1)式、(2)式とは下記のとおりである。

$$h_{D2} = \frac{u^2 - 1}{2u} \tan \delta \dots \dots \dots (1)$$

$$h_{D3} = \frac{\Delta W}{2mra^2PP_0} \dots \dots \dots (2)$$

ここに h_{D2}、h_{D3}=減衰定数、P=2πf、(f=固有振動数)

P₀=起振力の円振動数

u = P/P₀

δ = 位相差

ΔW=1周期において供試体に作用する抵抗力Rが地盤および供試体自身に対してなす仕事

mr=頂版および起振機の質量

a = 最大変位 (振幅)

2.1.4 吊橋橋脚の耐震設計に関する研究

1) 実験実施者

本州四国連絡橋公団（委託者）、九州大学小坪研究室（受託者）

2) 実験期間

昭和47年7月～48年3月

3) 実験目的

地盤－構造物系の地震応答特性の追跡

4) 実験の種類

- a) 小型多柱式基礎模型実験、b) 地盤係数の振動特性に関する実験
- c) 地下逸散減衰に関する模型実験、d) 地震時の地盤挙動解析
- e) 小型鋼製ケーソンの振動特性実験、f) 大型多柱式基礎模型実験

5) 実験供試体形状

供試体は、頂版厚 100mm、90mm、80mmの3種類を使用して振動実験を行った。供試体形状寸法は、右図に例を示す。柱は、 $\phi 114$ の塩ビ管である。

6) 測定項目

- a) 歪測定（くい）
- b) 加速度測定（地盤中、頂版）

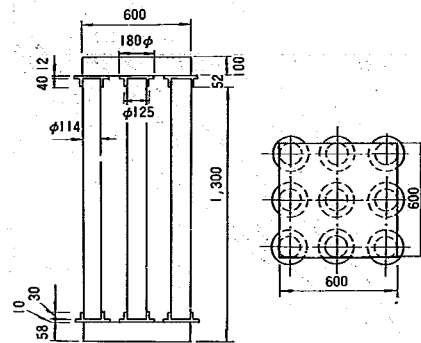


図-13 頂版厚100mmの模型体形状

7) 実験結果

一連の研究について、次の成果が得られた。

- a) 地盤係数の振動数特性は、ケーソン等の寸法（ケーソンでは半径） r_0 と、ケーソンによって発生する横波波長 L_s との比 r_0/L_s の関数となり、 $r_0/L_s \geq 5 \times 10^{-2}$ では地盤係数は減少し始め、 r_0/L_s が 10^{-1} のオーダーでは各振動数の2乗に比例、 $r_0/L_s > 10^0$ 平坦。
- b) 構造物への土の付着質量を r_0/L_s の関数とみなせばよい。
- c) 地下逸散エネルギーの推定は、三次元波動論を適用すると実験値と良く一致する。
- b) 地震時の地盤の挙動解析には、Feed back理論と、波動重複理論との計算結果とがよく一致する。
- e) 構造物の地震応答を近似計算する場合付着質量に関し、まだ検討すべき点がある。

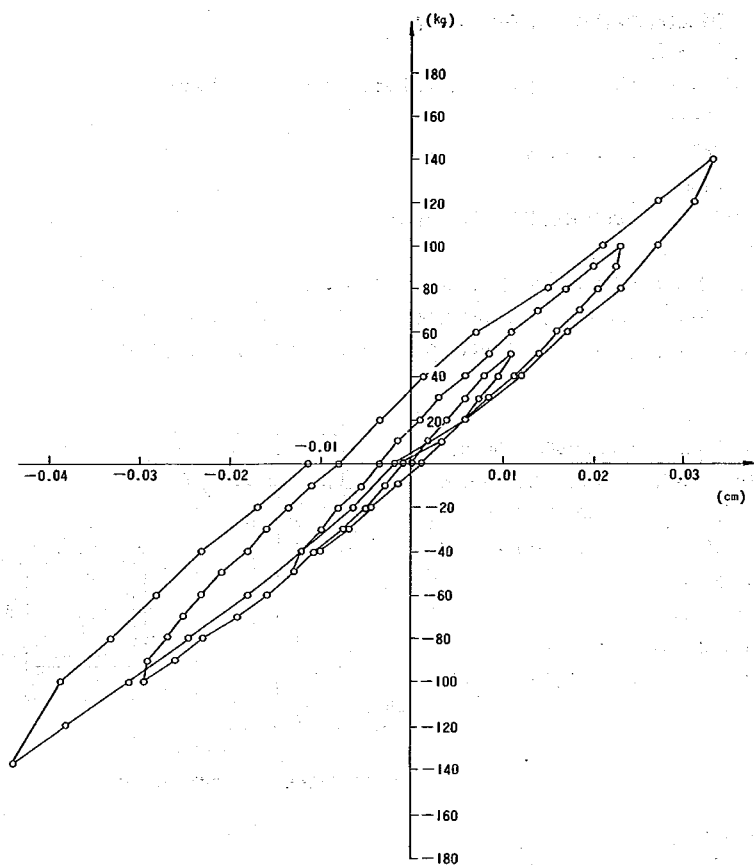


図-14 荷重-変位曲線 (頂版厚100cm)

図-14 は、頂版厚 100cm の供試体についての静的くり返し荷重による荷重-変位 (頂版) 曲線である。

2.1.5 吊橋主塔、橋脚および地盤の模型振動実験および解析

1) 実験実施者

本州四国連絡橋公団 (委託者)

科学技術庁国立防災科学技術センター (受託者)
 ㈱長大橋設計センター

2) 実験期間

昭和47年7月～48年3月

3) 実験目的

本州四国連絡橋基礎のうち、主塔基礎、アンカー基礎の各基礎を対象に、吊橋主塔＝基礎橋脚＝地盤およびケーブル＝アンカー＝地盤の模型を使って振動実験を行い、地震時の根入れ効果、主塔脚系の挙動、アンカー基礎におけるケーブルの影響等、その他耐震性について解析考察し、耐震設計の資料を得ようとしたものである。

4) 実験の種類

- a) 静的試験
- b) 加振台による動的実験
- c) 模型起振機による動的実験
- d) 自由振動実験

5) 実験供試体形状

実験模型は、その模型化に当たり、寸法1/150、時間1/5、密度1/2の縮尺率を用いた。

主塔材料はアクリル樹脂を用い、地盤模型材料には、土質改良剤（日東SS、結晶または30R）を弾性係数に応じて種々の配合で得た。

多柱基礎模型は、図-15に示す。

6) 測定項目

- a) 模型の固有振動数
- b) 模型の減衰性状
- c) 模型の固有振動モード
- d) 各種地震波（サンフェル、明石、十勝）による最大応答加速度
- e) 不規則波振動による各種模型の振動性状

7) 実験結果

本実験報告書では、ケーソン基礎、多柱基礎、アンカー基礎について、それぞれ述べられているが、ここでは多柱基礎についてのみ述べる。

- a) 多柱基礎は、模型自体弾性構造であり、それがさらに地盤の変形抵抗をうける。多柱基礎の変形抵抗は、柱の剛性、地盤の変形抵抗、頂版の変形抵抗が関連しあって定まる。

水平載荷試験、鉛直載荷試験から、多柱基礎の構造諸元は、次のように考えられる。

柱 剛 性	上部	$E I = 1.18 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ (1本当たり)
	下部	$E I = 2.32 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ (1本当たり)
頂版剛性		$E I = 1.895 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ (1基当たり)
地盤換算バネ	回転	$K_R = 517 \text{ kg} \cdot \text{cm/rad}$ (1本当たり)
	水平	$K_H = 28.3 \text{ kg/cm}$ (1本当たり)

鉛直 $K_v=19.85\text{kg/cm}$ (1本当たり)

作用高

$h_p=-6.13\text{cm}$ (地表面より)

b) 多柱基礎の振動特性は、静的実験の考察から得た力学モデルについての振動解析の結果を得たが、静的実験では群ぐい効果として単柱に対する地盤反力係数が約1/2になると考察したが、振動特性を見ると単柱での値をそのまま用いた方がよいと思われる。

表-5は、多柱基礎についての各実験ケースについての振動結果である。

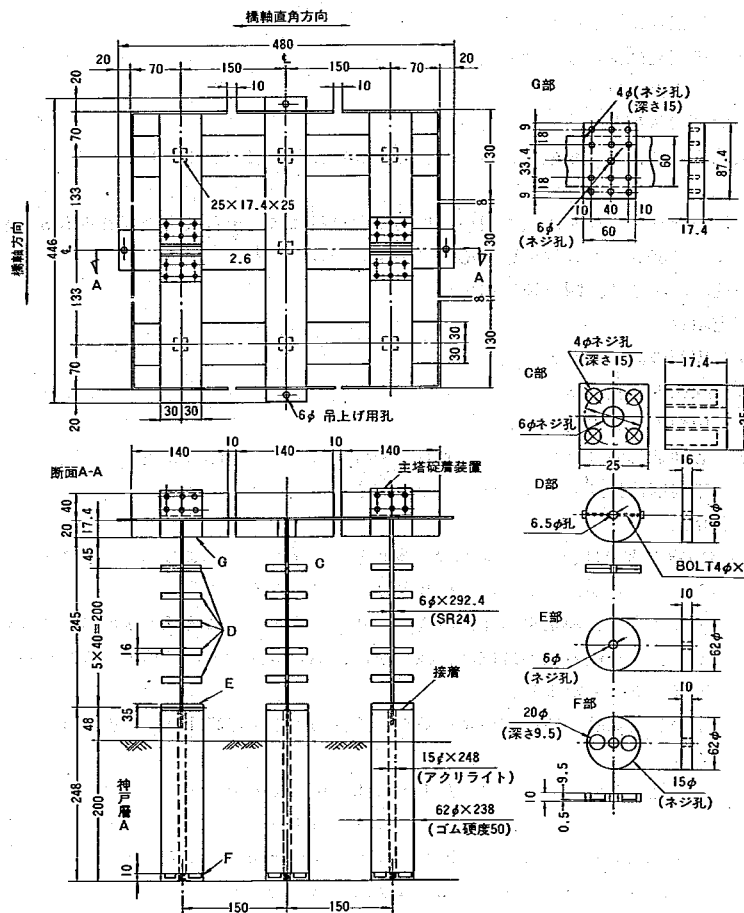


図-15 多柱基礎模型供試体

表-5 各実験ケースにおける多柱式模型の共振々動数、
対数減衰率および減衰定数

実験 ケース	実験種別		本 試 験		小型起振機		備 考
			橋 軸 直 角	橋 軸 直 角	橋 軸 直 角	橋 軸 直 角	
TEST-4 地盤(II) + 多柱	共振曲線	f	8.35	—	6.40	—	根入れ5cm で直角 3.7 c/s
		f	8.50	—	—	—	
	自由減衰	f	8.60	—	—	—	
		δ	0.271	—	—	—	
		f	0.044	—	—	—	
TEST-5 地盤(II) + 多柱 + 主塔	共振曲線	f	8.10	—	—	—	
		f	8.30	—	—	—	
	自由減衰	f	—	—	—	—	
		δ	—	—	—	—	
		h	—	—	—	—	
多柱底面固定	共振曲線	f	—	—	5.00	4.90	起振機なし でL方向 $f_d=5.05c/s$
		s	—	—	—	—	
		h	—	—	—	—	
	自由減衰	f	—	—	4.95	5.05	
		δ	—	—	0.384	0.324	
		h	—	—	0.061	0.052	

2.1.6 大島大橋主橋梁（下部工）工事振動実験

1) 実験実施者

日本道路公団（委託者）

大成建設㈱（受託者）
㈱大林組

2) 実験期間

昭和49年11月～50年1月

3) 実験目的

大島大橋の実大実物の基礎において加振実験、その他の測定を行い、解析で求められている諸数値の妥当性を検討し、さらに豊富な実験データと解析システム、文献等により今後の多柱式基礎の設計および施工上の資料とするため。

4) 実験の種類

- 常時微動測定（P₃、P₄、P₅橋脚、実験用 A、B、C かい、P₃用ジャケット岩盤）
- 加振実験（実験用 C かい、P₄橋脚）
- 気象、海象観測（風向、風速、潮流、潮位等）

5) 実験供試体形状

実験に使用した供試体は、大島大橋P₃、P₄、P₅橋脚、実験用A、B、Cの、P₃用ジャケット等である。

図-16は、P₄橋脚の形状を示す。

6) 測定項目

図-17・図-18にP₄橋脚の計測ブロック図および振動計配置図を示す。

7) 実験結果

- 実験時、強潮流の橋脚に与える悪影響はなかった。
- 付加質量の問題には、理論的に桜井式を用いれば説明できる。

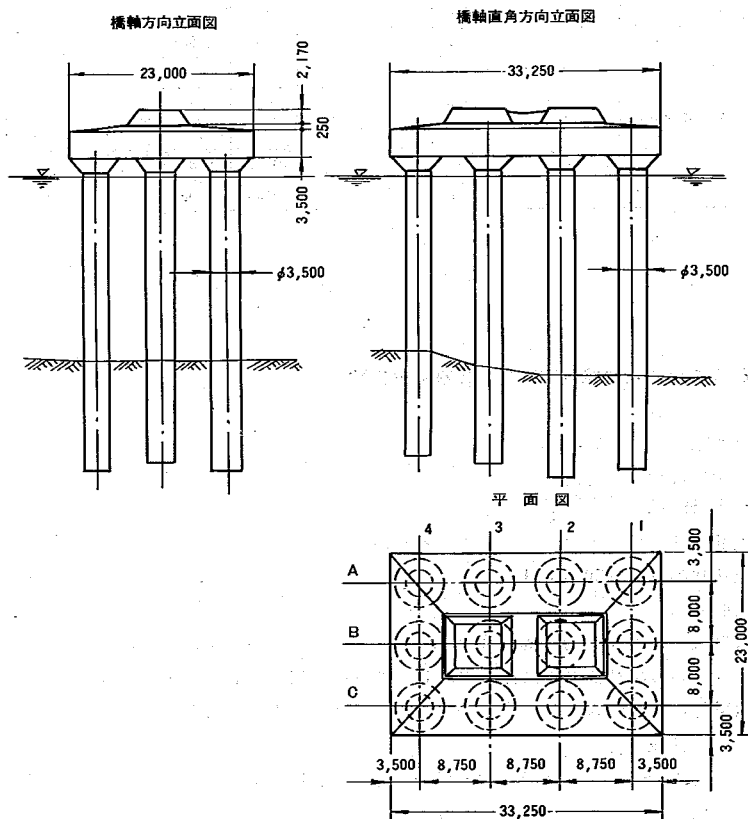


図-16 P₄橋脚形状

- c) 地盤の変位量によるK値の非線型性が明らかになった。
- d) 静的K値と動的K値との関係は、地表面変位の如何にかかわらず K/K_0 は、ほぼ2となる。
- e) P_4 加振実験結果とその理論解析は良い一致を示した。
- f) ねじれは、杭頭変位に換算して8~10%程度にあたる。
- g) 平均応答スペクトル解析は、 P_4 橋脚について、実験結果はよく一致した。

8) 特記事項

大島大橋の実大実験で用いられた理論解析を図-19に示す。

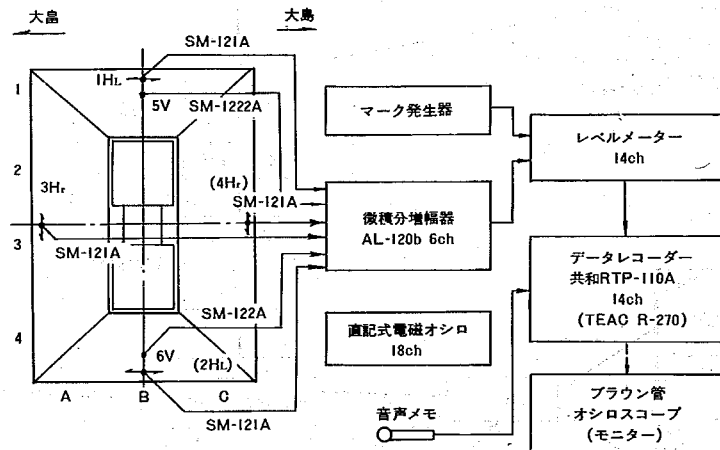


図-17 計測ブロック図 (例: P_4 橋脚、振動計配置その1)

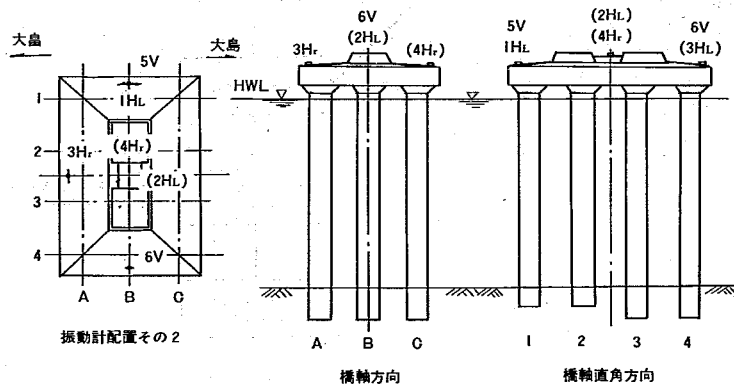


図-18 振動計配置 (P_4 橋脚)

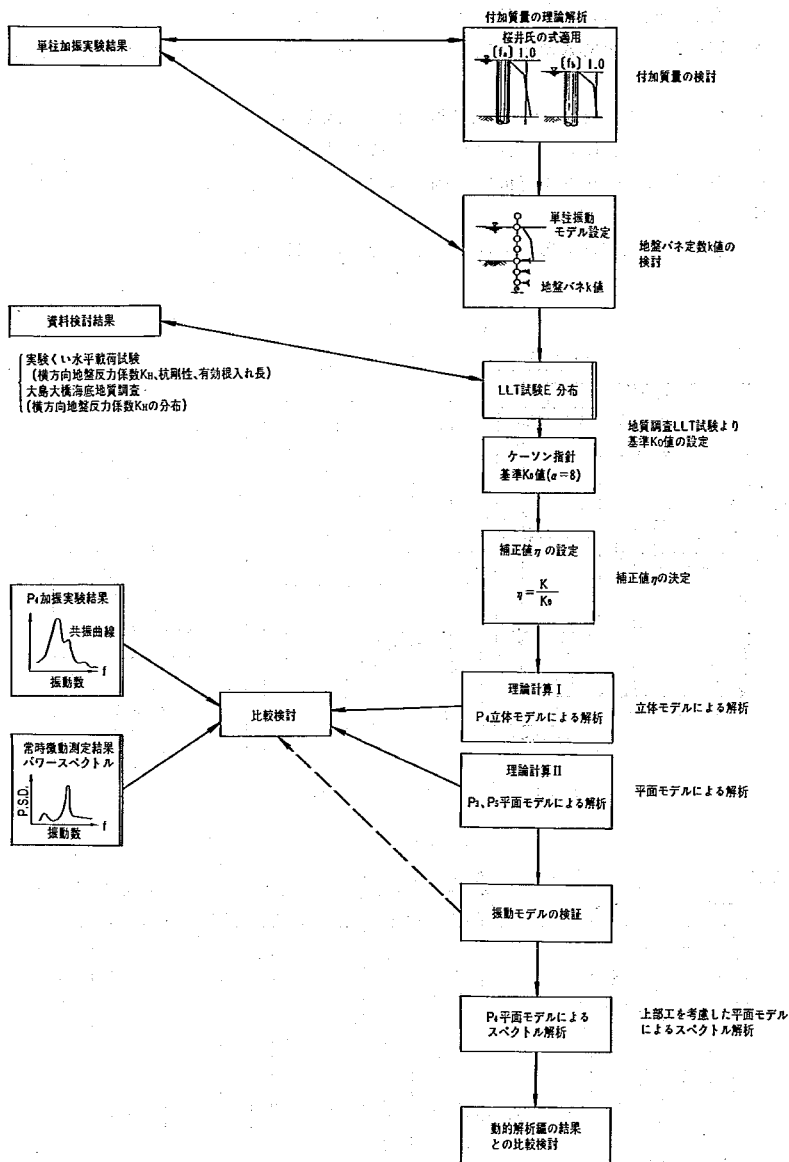


図-19 理論解析フロー図

2.2 静的載荷実験

2.2.1 多柱式基礎水平載荷試験

1) 実験実施者

建設省土木研究所（委託者）、新日本製鐵㈱（受託者）

2) 実験期間

昭和45年8月～10月

3) 実験目的

多柱式基礎の模型による群ぐいの荷重分担の割合と全体的挙動の把握

4) 実験の種類

- a) 頂版天端軸心載荷試験
- b) 頂版天端偏心載荷試験
- c) タワー天端軸心載荷試験

5) 実験供試体形状

模型寸法は、図-20に示すような鋼管ぐい(500mm×12mm) 9本(3行、3列)で構成されており、頂版厚は、500mm、1000mmの2基を製作した。

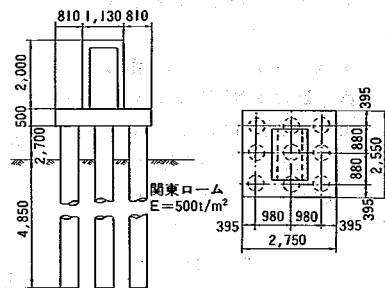


図-20 頂版厚(500mm)の模型体形状

6) 測定項目

- a) 変位測定……撓度計、遠隔変位計
- b) 応力測定……ストレインゲージ
- c) 回転角……水管式傾斜計

7) 実験結果

各試験から、荷重変位曲線、変位分布、水平バネ定数、回転バネ定数、ねじりバネ定数と荷重の関係が得られた。図-21に示すのは、頂版位置軸心水平載荷試験における頂版下端での変位と荷重の実験結果である。

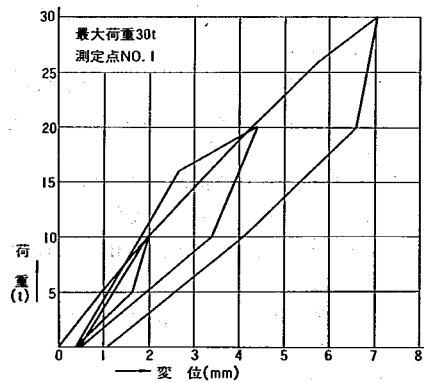


図-21 頂版天端軸心水平載荷試験

2.2.2 本州四国連絡橋多柱式基礎大形模型実験

1) 実験実施者

本州四国連絡橋公団（委託者）、住友金属工業㈱（受託者）

2) 実験期間

昭和46年10月～47年3月

3) 実験目的

本州四国架橋Aルートの塔基礎としての多柱式基礎の力学的性状を大形模型実験により明らかにし、設計上の基礎資料を求めるとともに設計計算法を確立する。

4) 実験の種類

実験供試体は3体のモデルを製作し、次の載荷方法で14種類の載荷試験を行った。

- 鉛直対称載荷試験
- 水平対称載荷試験
- 組合せ載荷重試験
- 水平逆対称載荷重試験

5) 実験供試体形状

実験供試体は、3体製作し、図-22の基礎原形に対し、モデルⅠ、Ⅱは、 $\ell_m/\ell_p = 1/20$ 、モデルⅢでは、 $\ell_m/\ell_p = 1/16$ を基に模型体を作った。

例として、図-23にモデルⅠ、Ⅱの概略形状を示す。

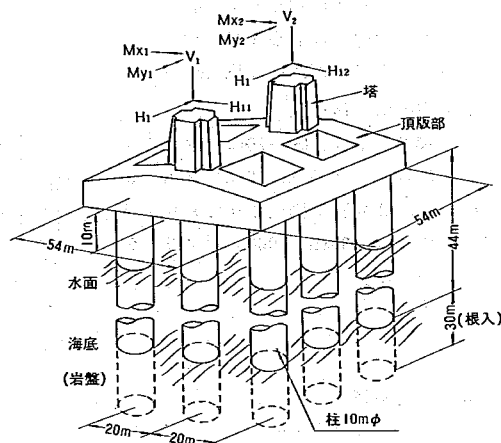


図-22 基礎原形図

6) 測定項目

- 変位測定（水平変位、鉛直変位、回転変位）
- 歪測定（接合部、柱、頂版）

7) 実験結果

- 変位、荷重分担率、部材の断面力については、立体骨組とみなして計算した値と実験値がよく一致した。
- 水平荷重分担率は、作用水平力に対して、頂版剛性を大にするほど均一化する。
- 鉛直荷重分担率は、頂版剛性を大きくすることによる均等化の効果は、それほど大ではない。
- ねじりに対して、モデルⅠ、Ⅱの場合、曲げ剛性約60%、ねじり剛性約40%が、ねじりモーメントに対し抵抗する。

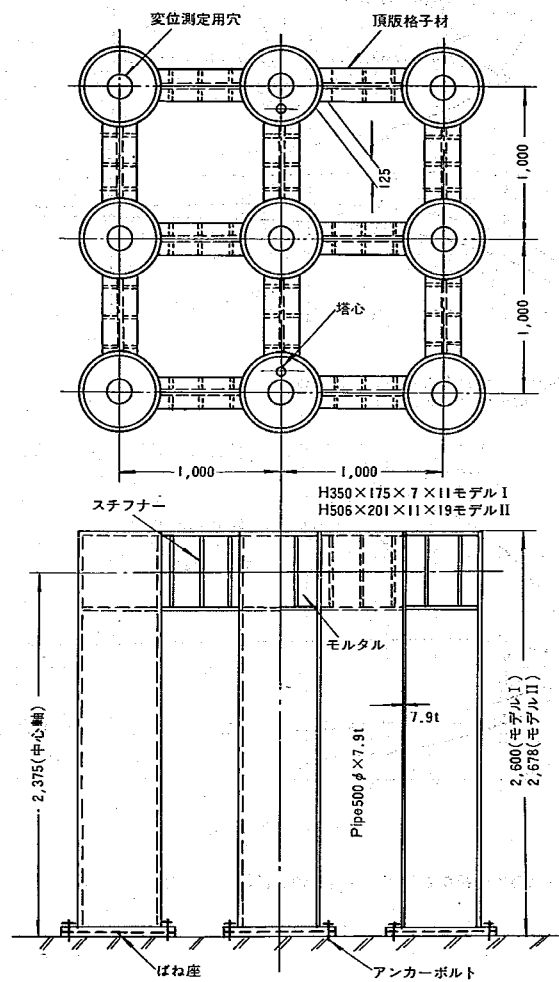


図-23 モデル I、II の形状

e) 原形の挙動予測として、柱頭最大鉛直変位、荷重分担率の値を推定している。
 図-24、25 実験結果と、解析結果から得られた鉛直荷重分担率と頂版の鉛直曲げ剛性の関係、または、鉛直バネ定数の関係である。

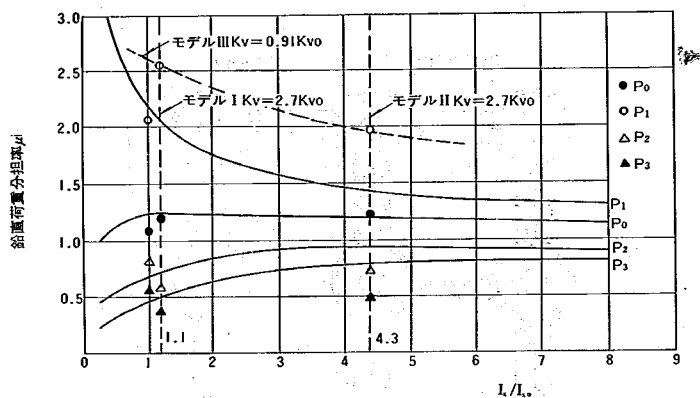


図-24 鉛直荷重分担率と頂版の鉛直曲げ剛性の関係 (鉛直載荷)

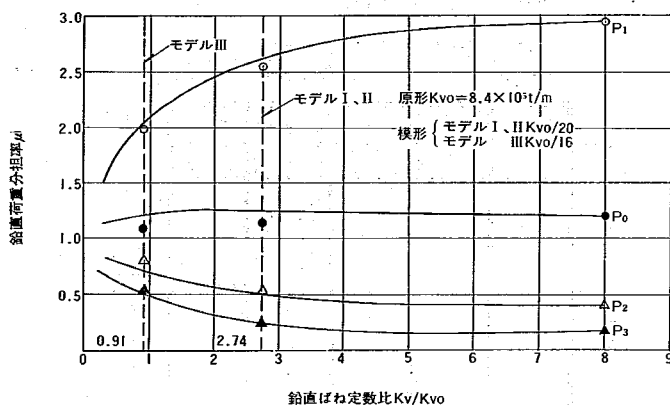


図-25 鉛直荷重分担率と鉛直ばね定数の関係 (鉛直載荷)

なお、図中、 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 は、右図のとおりで、 P_1 は特に鉛直載荷点を示す。

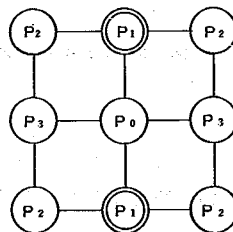


図-26 載荷点

8) その他

今後研究を要する問題として、

- 頂版および頂版と柱の接合部の応力
- 接合部の構造開発
- 柱の合成断面としての力学的挙動
- 地盤の応力状態
- 水平地盤バネ定数が多柱式基礎各部への応力、変形に及ぼす影響
- 地盤バネ定数の寸法効果を掲げている。

2.3 構造解析

2.3.1 多柱式基礎に関する計算

1) 解析実施者

建設省土木研究所(委託者)、大阪設計コンサルタンツ(受託者)

2) 解析期間

昭和45年8月～46年2月

3) 解析目的

本四A₁～05橋脚の模型実験(水平載荷試験)のための設計計算

4) 解析概要

鉛直バネ、せん断バネを一定にし、水平バネの強度を6 case考えた。構造解析法

表-6 バネ定数

Case	鉛直バネ	せん断バネ	水平バネ
Case 1	kg/cm $1,636 \times 10^3$	kg/cm $8,179 \times 10^2$	後面 中面 前面 kg/cm ² 4,639 4,639 4,639
Case 2	$1,636 \times 10^3$	$8,179 \times 10^2$	$1,392 \times 10$ $1,392 \times 10$ $1,392 \times 10$
Case 3	$1,636 \times 10^3$	$8,179 \times 10^2$	4,639 4,639 4,639
Case 4	$1,636 \times 10^3$	$8,179 \times 10^2$	$1,392 \times 10$ $1,392 \times 10$ $1,392 \times 10$
Case 5	$1,636 \times 10^3$	$8,179 \times 10^2$	3,480 6,960 $1,392 \times 10$
Case 6	$1,636 \times 10^3$	$8,179 \times 10^2$	3,480 6,960 $1,392 \times 10$

として、ラーメン解法および、頂版を剛とする立体解析で計算した。

6 caseの鉛直バネ、せん断バネ、水平バネ定数は、表-6の通り考えた。

5) 解析モデル

本四A₁-05基礎の1/20の比で形状を決定し、下図の設計モデルを考えている。

地盤の相違補正の方法として、 βl を一致させる方法を用いた。

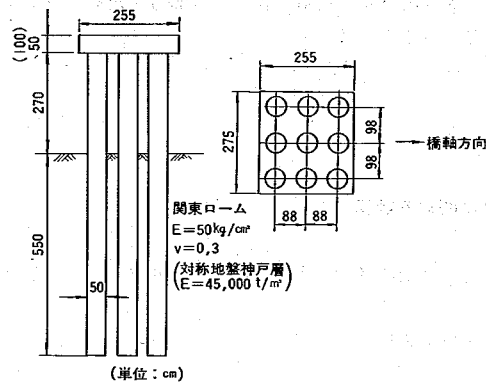


図-27 設計モデル

6) 解析結果

解析結果より頂版点の最大水平変位を25cmとすれば、もっとも平均的変位を与える。

case 4 のバネ系に対し、断面力を求めている。

断面力図は、図-28に示す。

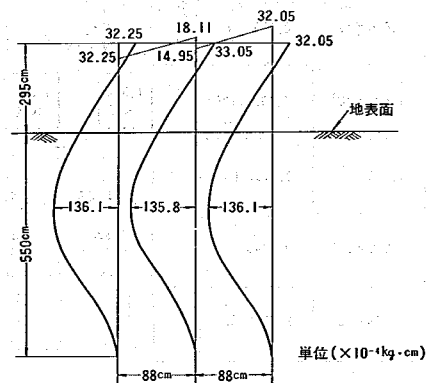


図-28 断面力図

2.3.2 SRC構造に関する研究（大型SRC構造物の解析方法に関する基礎的事項）

1) 実験実施者

本州四国連絡橋公団（委託者）、東京大学国分研究室（受託者）

2) 実験期間

昭和46年度

3) 実験目的

多柱式基礎のようなスパンに比して部材厚さの大きな構造物の解析方法、主として部材の内力状態の解析方法について検討する。

4) 実験の種類

ラーメン供試体、SRCフラットスラブ供試体の鉛直および水平載荷試験

5) 実験供試体形状

実験供試体は、図-29の通りで載荷位置は、A、B、C、B'、C'である。

6) 測定項目

a) 鉛直荷重および水平載荷重による各断面における鉄筋の歪、変形の測定。

b) SRC、フラットスラブでは鉛直荷重による鋼材の歪、各柱の反力測定

7) 実験結果

a) 軸力による変形を考慮したタワミ角法によりラーメン解析値は、軸力の実験値によく一致するが、梁のモーメントに関しては著しく異なる。梁のモーメントは、ディープビームの挙動をすると考えられる。

b) SRC、フラットスラブでの実験では、支点沈下が生じ、各柱への軸力配分が計算どおりでなかった。

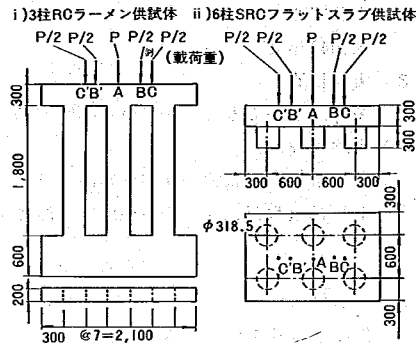


図-29 載荷位置

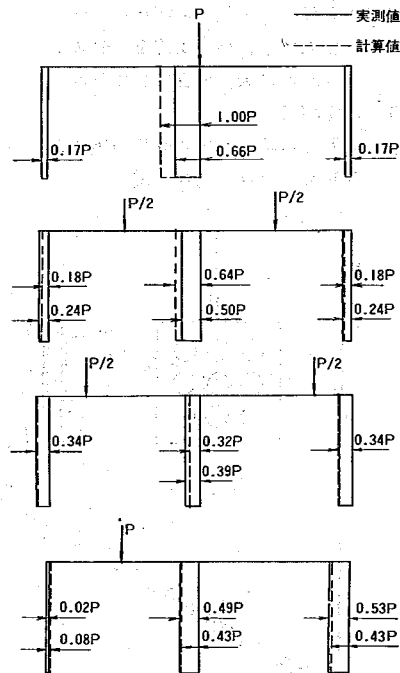


図-30 タワミ角法による軸力の計算値との比較

図-30は、タワミ角法による軸力の計算値と実験値を比較した図である。

2.3.3 多柱支持の厚肉SRC構造

1) 実験実施者

本州四国連絡橋公団（委託者）、東京大学国分研究室（受託者）

2) 実験期間

昭和47年度

3) 実験目的

多柱式基礎で考えられている厚肉鉄筋コンクリートスラブの力学的性状の把握。

4) 実験の種類

a) 水平載荷試験（9本柱厚肉スラブ）

b) 鉛道載荷試験（6本柱厚肉、薄肉スラブ、9本柱厚肉スラブ）

5) 実験供試体形状

供試体は6本柱厚肉スラブ、6本柱薄肉スラブ、9本柱厚肉スラブの3種類があり、昭和46年度の実験結果より、柱の支持を基礎スラブ（剛性が大）で支持している。

6) 測定項目

a) 載荷時における鉄筋の歪測定

b) スラブひび割れ状況

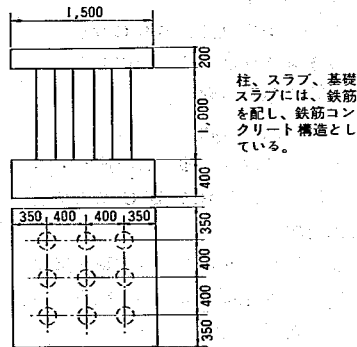


図-31 9本柱スラブの形状

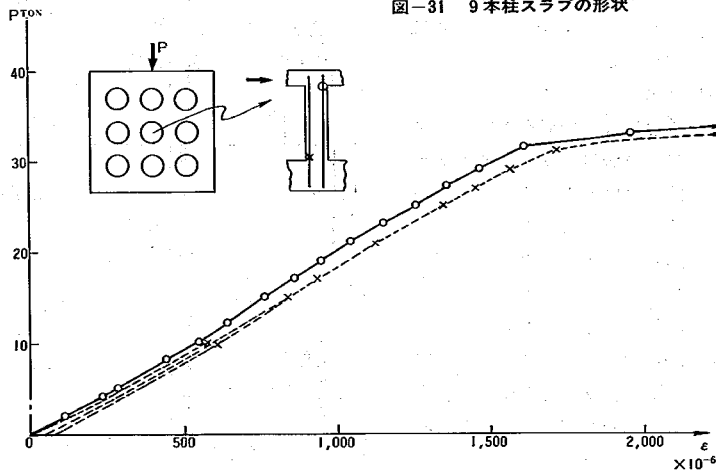


図-32 荷重—変位曲線

7) 実験結果

- a) 骨組構造のスパンを柱の中心間隔にとり立体、骨組解析をした柱反力の計算値が実測定とよく一致した。(軸方向変形を考慮した解析である。)
- b) スラブ鉄筋歪の結果から、スラブひび割前では、剛域を考慮した柱の純間隔をスパンとした解析値がよく実験値と合い、ひび割れ後は合わない。
- c) 終局荷重は、降伏荷重の60%増であった。

図-32は、水平載荷試験(9本柱厚肉スラブ)の荷重-歪曲線である。

3. 参考文献

- 1) 多田浩彦:「多柱式基礎の構造特性」橋梁と基礎vol'6-9
- 2) 岐阜県青柳橋下部工載荷振動実験工事
- 3) 「群杭の模型、振動実験」
- 4) 「多柱基礎の振動実験」
- 5) 「吊橋橋脚の耐震設計に関する研究」
- 6) 「吊橋主塔、橋脚および地盤の模型振動実験および解析」
- 7) 「大島大橋主橋梁(下部工)工事振動実験」
- 8) 「多柱基礎水平載荷試験」
- 9) 「本州四国連絡橋多柱基礎大形模型実験」
- 10) 「SRC構造に関する研究」(大型SRC構造物の解析方法に関する基礎的事項)
- 11) 「SRC構造に関する研究」(多柱支持の厚肉SRC構造)
- 12) 倉田・他:多柱式基礎の立体振動 土木学会講演集 S. 44. 9
- 13) 浅間・他:多柱式基礎の性状について 土質工学会講演集 S. 46. 6
- 14) 渡辺・他:多柱基礎の荷重分配性状について 土木学会講演集 S. 48. 10
- 15) 本州四国連絡橋下部構造設計示方書
- 16) 技術者のための最新情報 近代図書第4章「多柱基礎工法」