

## 5. 考 察

### 5-1 固有振動周期および振動モード

Type-1～Type-6のCase-1～Case-3について、卓越振動の固有振動周期をピックアップして表5-1に示す。また、各タイプの卓越固有振動周期を本州四国連絡橋公団の加速度応答スペクトル曲線上にプロットした図を、Case-1～Case-3について、それぞれ図5-1～図5-3に示す。

検討結果を要約すれば、次のとおりである。

- a) Case-1 (フローティングタイプ) では、どのタイプも1次の固有振動が卓越振動となり、固有周期も6～10secとかなり長周期である。卓越振動モードは遊動円木的であり、応答加速度も20～40galと著しく低下する。中でも主塔が鋼、主桁が複合のType-3では、かなり長周期 ( $T=10.3\text{sec}$ ) のため応答加速度は20gal程度まで低下する。
- b) Case-2, Case-3の場合、タイプ間の差はCase-1ほど明確ではなく、固有周期は0.8～1.0secの付近に集まっている。応答加速度もType-4を除いて200gal～250galの範囲にある。
- c) 主塔がコンクリート、主桁が複合のType-2 (支間比 1:2.7:1) とType-6 (支間比 1:3.2:1) の2タイプについては、Case-1～Case-3ともに卓越周期および応答加速度に明確なタイプ間の差は認められない。

表5-1 卓越固有振動周期と減衰定数

	Case-1	Case-2	Case-3
Type-1	$T_1 = 5.64 \text{ sec}$ $h_1 = 2.56 \%$	$T_8 = 0.95 \text{ sec}$ $h_8 = 3.22 \%$	$T_8 = 0.95 \text{ sec}$ $h_8 = 3.48 \%$
Type-2	$T_1 = 6.48 \text{ sec}$ $h_1 = 4.02 \%$	$T_{10} = 0.97 \text{ sec}$ $h_{10} = 4.26 \%$	$T_{10} = 0.98 \text{ sec}$ $h_{10} = 4.34 \%$
Type-3	$T_1 = 10.33 \text{ sec}$ $h_1 = 3.84 \%$	$T_{11} = 0.85 \text{ sec}$ $h_{11} = 3.90 \%$	$T_8 = 1.09 \text{ sec}$ $h_8 = 3.62 \%$
Type-4	$T_1 = 8.75 \text{ sec}$ $h_1 = 2.00 \%$	$T_{11} = 0.80 \text{ sec}$ $h_{11} = 2.00 \%$	$T_8 = 0.97 \text{ sec}$ $h_8 = 2.00 \%$
Type-5	$T_1 = 8.05 \text{ sec}$ $h_1 = 5.00 \%$	$T_7 = 0.97 \text{ sec}$ $h_7 = 5.00 \%$	$T_{10} = 0.80 \text{ sec}$ $h_{10} = 5.00 \%$
Type-6	$T_1 = 6.39 \text{ sec}$ $h_1 = 3.91 \%$	$T_{10} = 0.97 \text{ sec}$ $h_{10} = 4.19 \%$	$T_{10} = 0.97 \text{ sec}$ $h_{10} = 4.40 \%$

注 1)  $T_n$  : 第n次の卓越固有振動周期 (sec)

2)  $h_n$  : 第n次の減衰定数 (%)

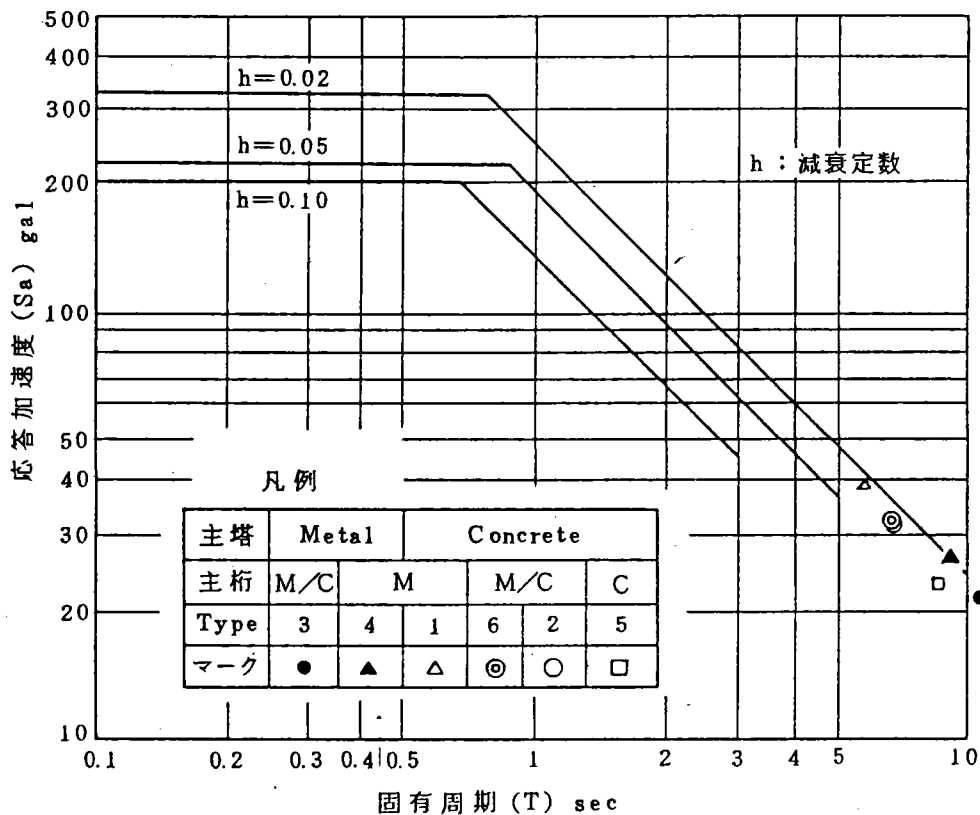


図5-1 Case-1の卓越固有振動周期と本四加速度応答スペクトル曲線 (最大加速度180gal)

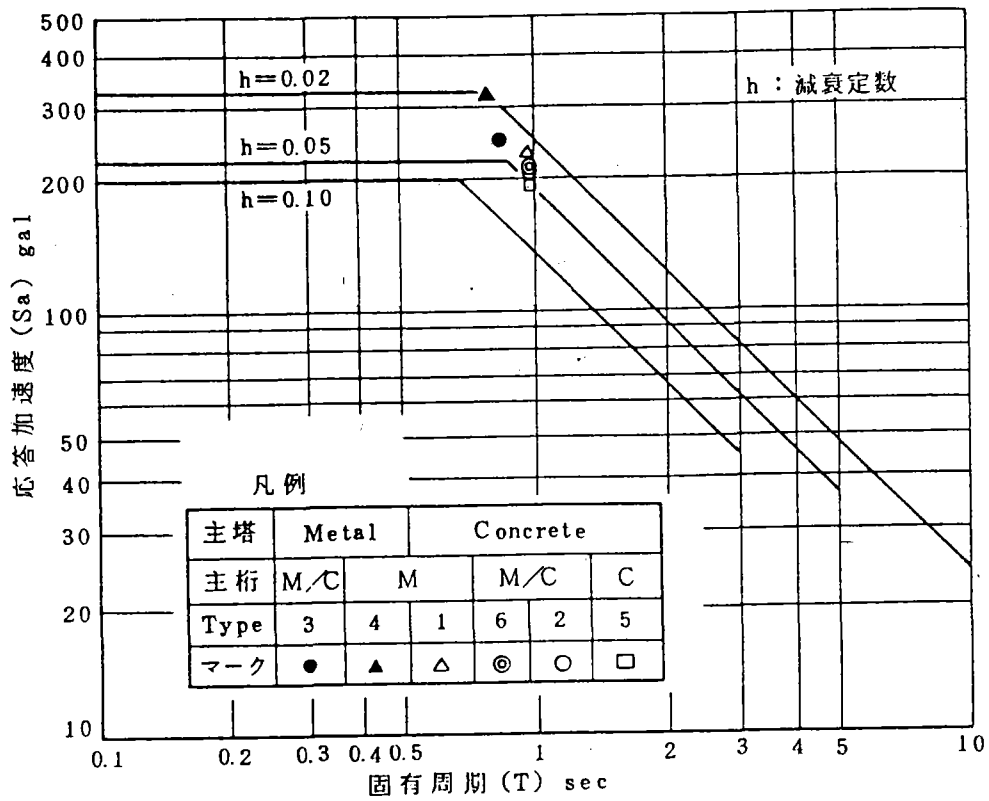


図5-2 Case-2の卓越固有振動周期と本四加速度応答スペクトル曲線 (最大加速度180gal)

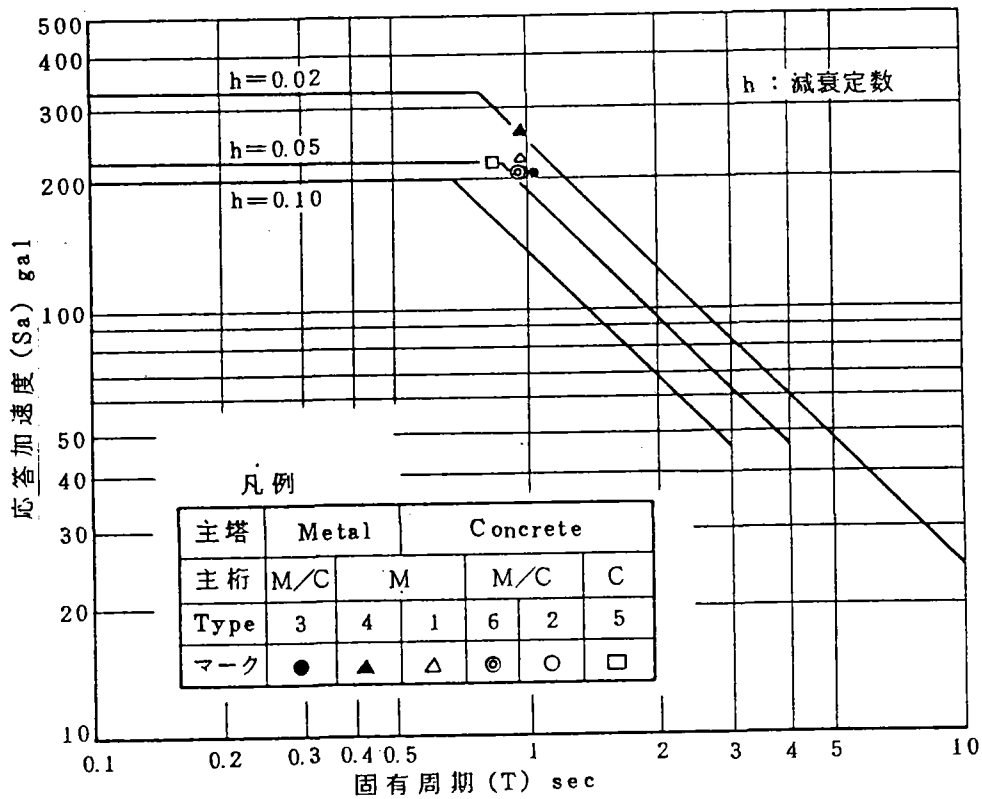


図5-3 Case-3の卓越固有振動周期と本四加速度応答スペクトル曲線 (最大加速度180gal)

## 5-2 最大応答値

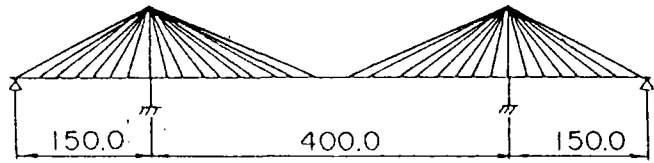
各タイプの自重及び最大応答値を比較するために、計算結果を棒グラフで整理したものを図5-4～図5-10に示す。

考察は、主塔がコンクリート、主桁が鋼か複合桁である Type-1、Type-2 及び Type-6 を中心に行った。

### (1) 自重について (図5-4)

図5-4は、主桁、主塔及びケーブルの自重を比較したものである。グラフの構成にあたり、主塔が鋼かコンクリートの場合、主桁が鋼かコンクリートあるいはそれらの複合の場合を整理して並べている。(図中の桁の欄のCは桁がコンクリート、M/Cは中央径間が鋼、側径間がコンクリートであることを示している。)本グラフの整理上の傾向として、図中の左欄の Type-3 を除けば、右に向かう程、構造物に占めるコンクリートの割合が多くなっている。

主塔がコンクリートであるタイプの中で、Type-5だけ主塔重量が大きく異なるのは、Type-5では、主桁位置より下の主塔断面形状が中実断面となっているからである。ケーブル重量に着目すると主桁重量が大きい Type-5は、他のタイプのケーブル重量の約3倍程度となっている。



※印は、スパン  $L=134.6+430.8+134.6m$

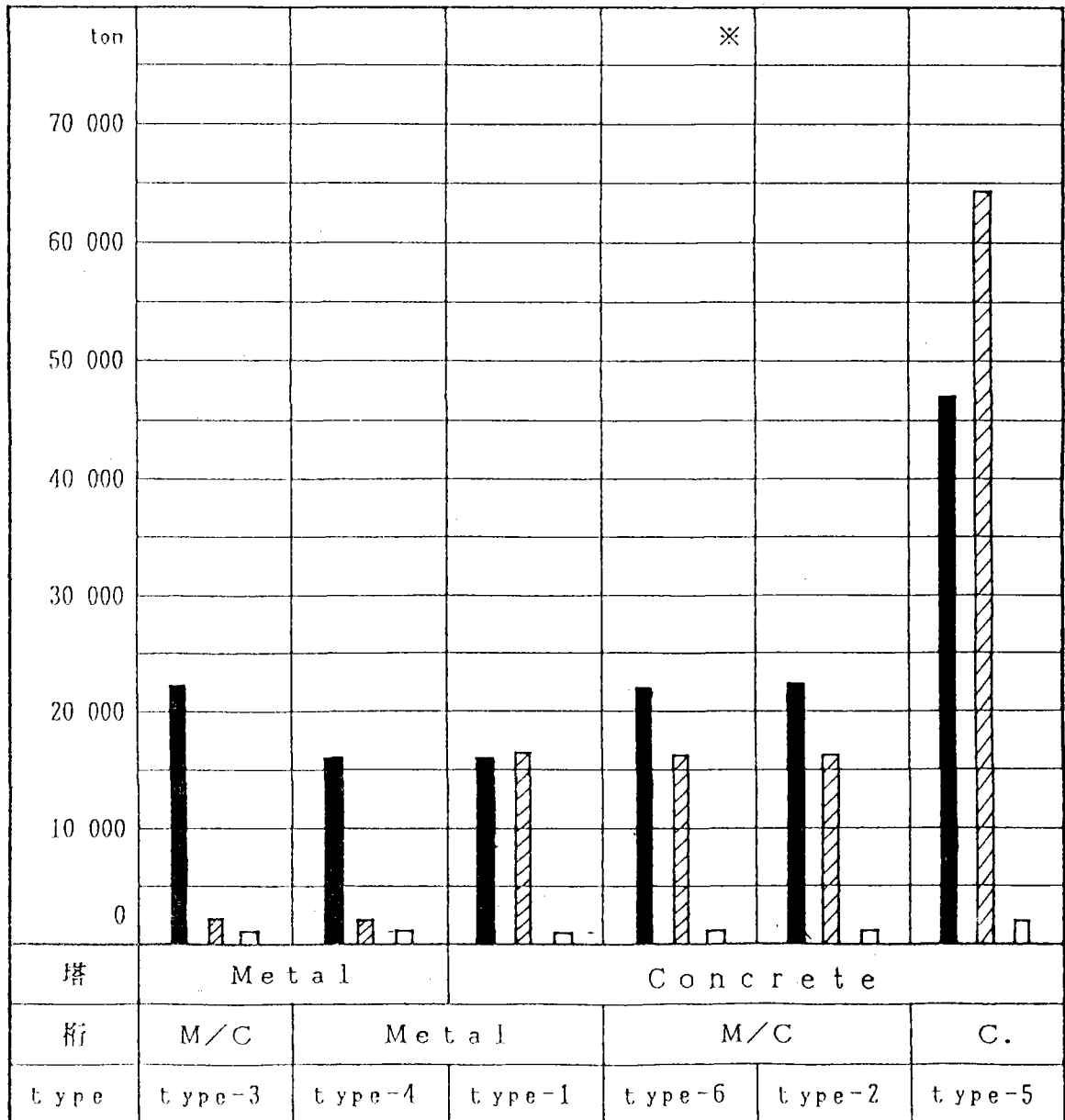
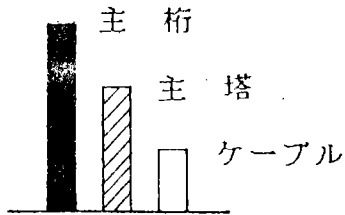


図 5-4 自重の比較

(2) 主桁の水平変位について (図5-5)

図5-5は、主桁の水平変位についてタイプ及びケースによる差違を比較したものである。以後の比較図は、この図に示すように、着色部、斜線部及び無着色部をそれぞれ Case-1, Case-2 及び Case-3 に対応させた表現としている。

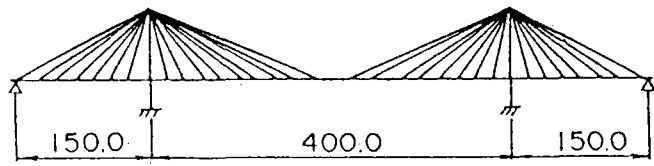
- ・主桁がフローティングタイプである Case-1 は、主塔がコンクリートの場合 30~40 cm, 主塔が鋼の場合 50~70 cm と大きな値となった。その他のケースは数センチ程度と小さな値であった。
- ・ Case-1 及び Case-3 については、主塔が鋼か、コンクリートであるかが水平変位に大きく影響するが、桁端を拘束している Case-2 は、その影響は認められなかった。前者の場合、主塔がコンクリートの方が有利となる結果を得た。
- ・主桁を複合化した場合は、在来の構造と同等の変位量であり、特別な問題点は認められなかった。

(3) 塔頂の水平変位について (図5-6)

- ・定性・定量的に桁の水平変位とほぼ同じ傾向であったが、Case-3 については、主塔の使用材料による影響は認められなかった。

(4) 桁の鉛直変位について (図5-7)

- ・ Case-1 については、Type-5 の場合 20 cm 程度、その他は 10 cm 程度であり、Case-2 及び 3 と比べて大きい。Type-5 を除けば水平変位で見られたようなケースの違いによる有意差はなかった。
- ・主塔及び主桁の使用材料の違いが応答特性に及ぼす影響については、その明確な傾向はないようであった。



※印は、スパン  $L = 134.6 + 430.8 + 134.6\text{m}$

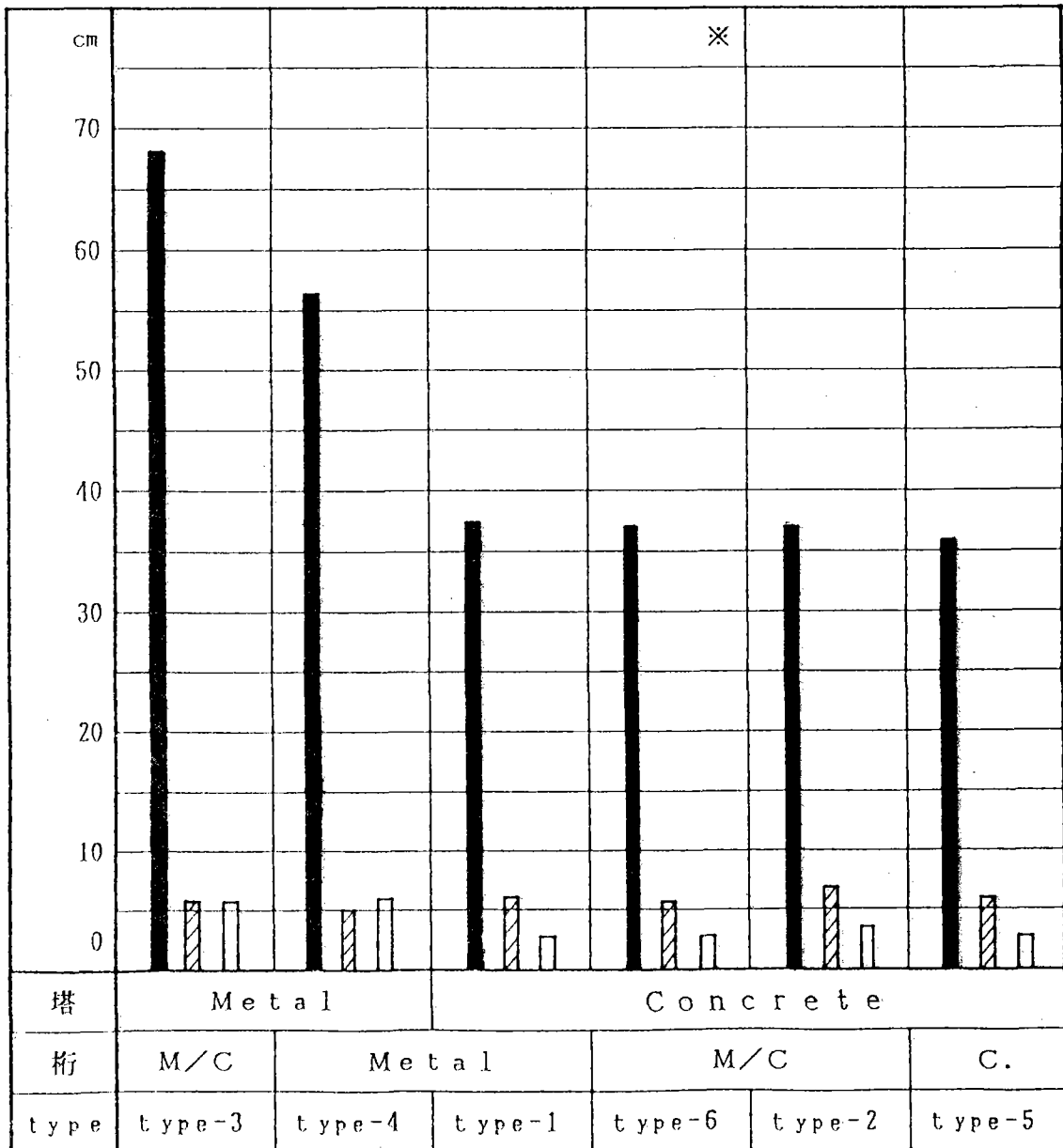
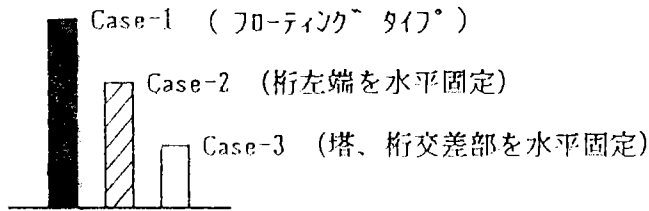
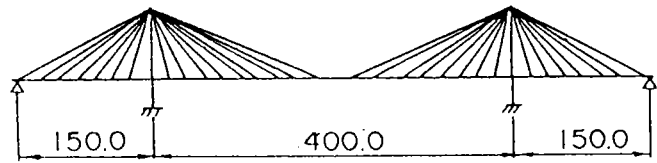


図 5-5 水平変位 (桁) の比較



※印は、スパン  $L = 134.6 + 430.8 + 134.6\text{m}$

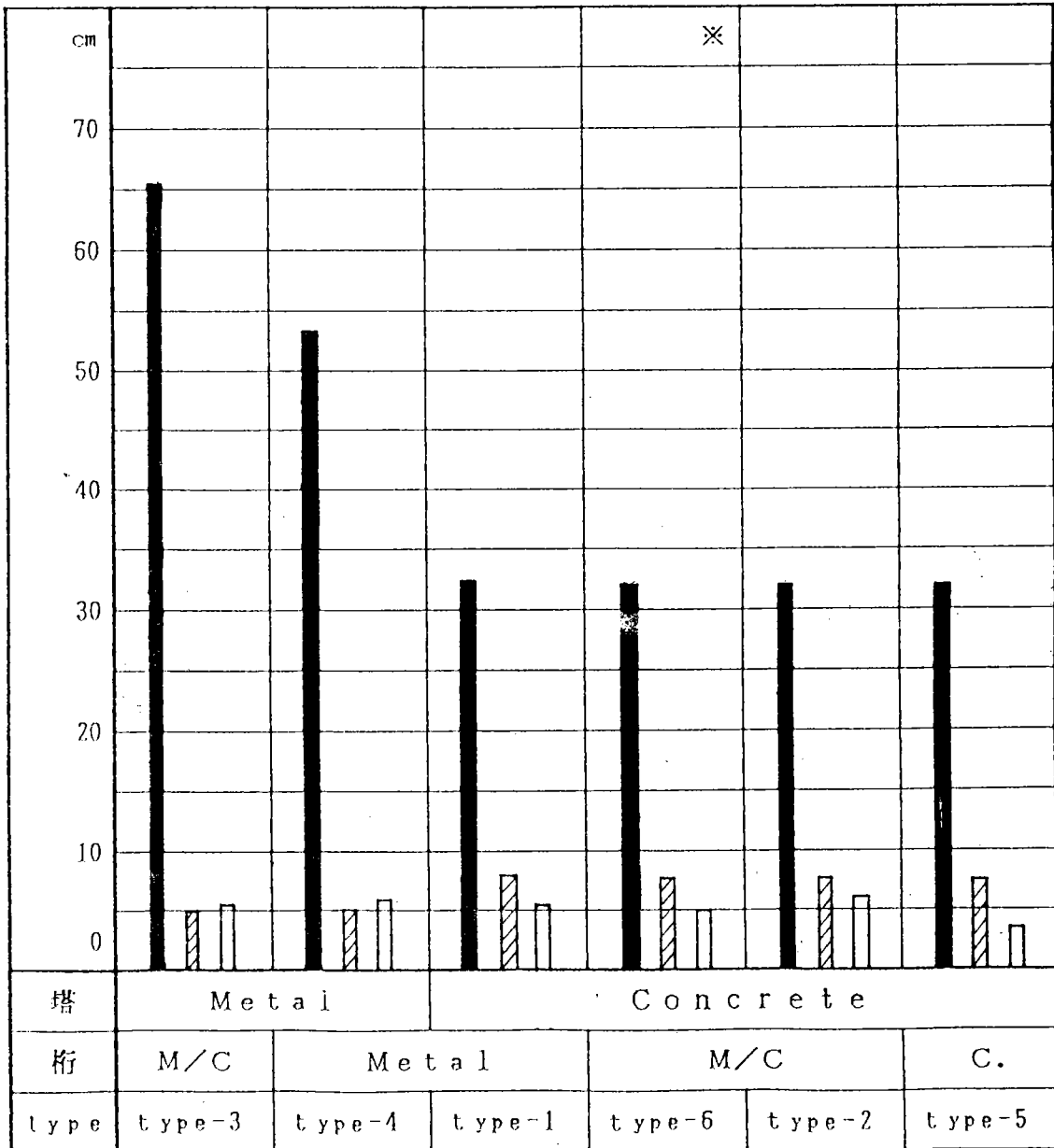
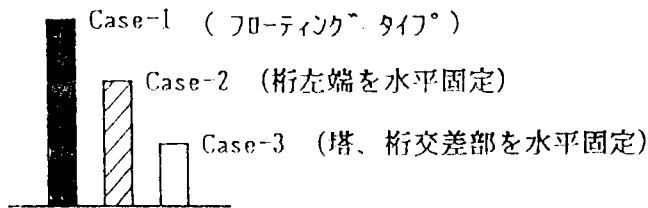
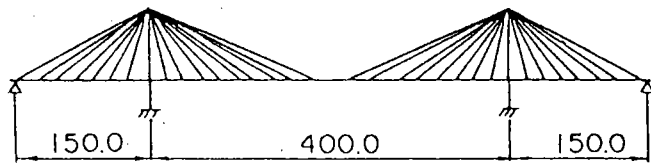


図 5-6 水平変位 (塔頂) の比較





※印は、スパン  $L = 134.6 + 430.8 + 134.6\text{m}$

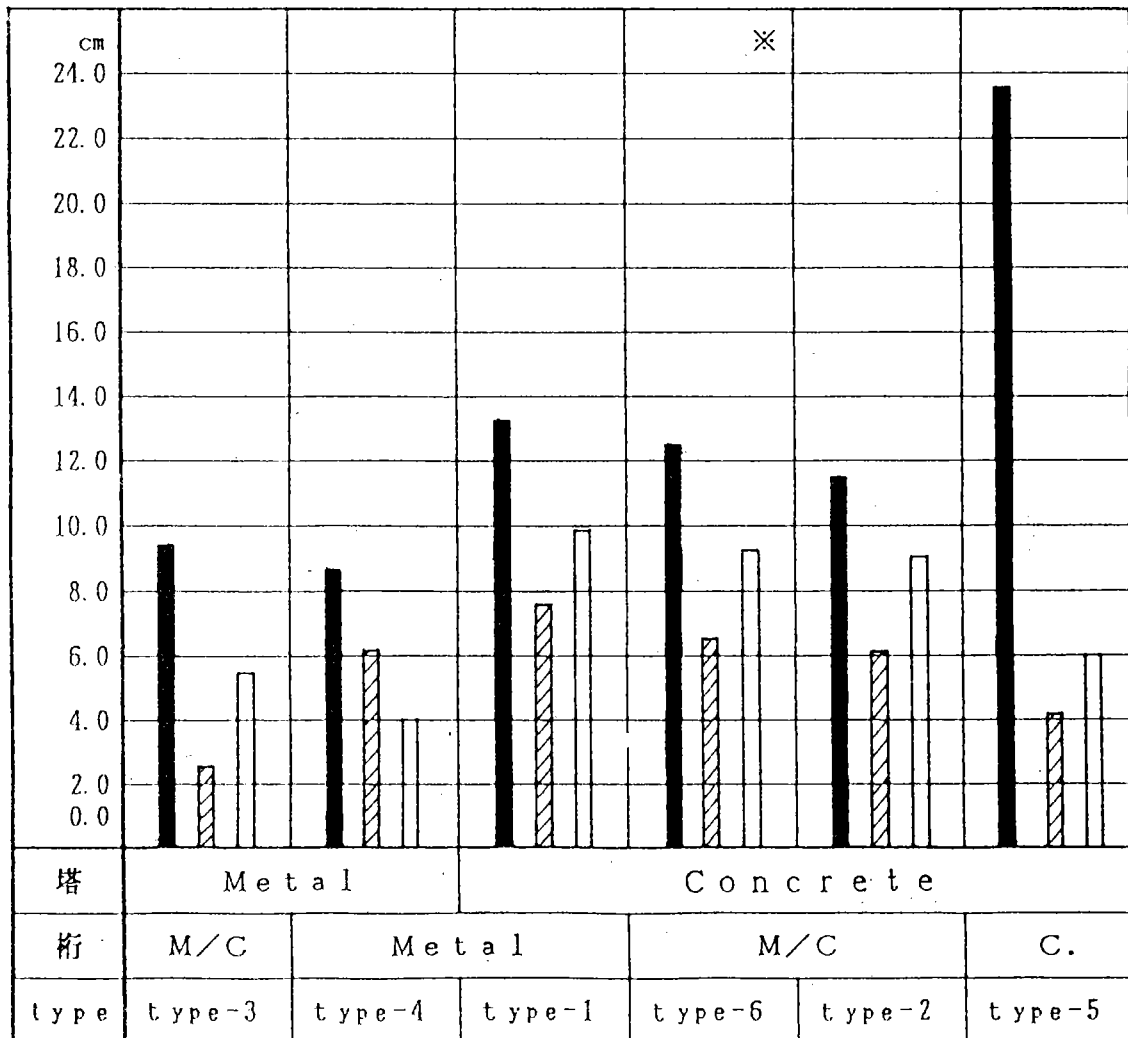
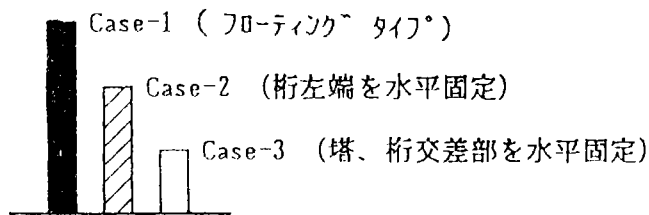
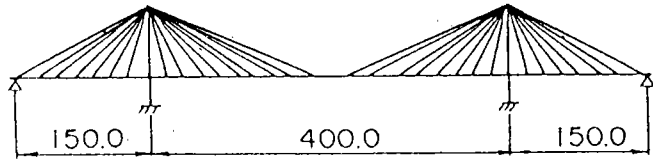


図 5-7 鉛直変位 (桁) の比較

(5) 下部工への反力について (図5-8)

下部工反力として、主塔基部の水平反力を比較したものを図5-8に示す。Case-2については、拘束している左橋台の水平反力も加えて図化している。

- ・主塔反力は Case-3 が他のケースに比べて数倍大きい。Case-2 の橋台の反力はこれをさらに上回る結果となっており、主桁がフローティングタイプである Case-1 が有利であることが確認できた。
- ・主塔がコンクリートである影響は、主塔水平反力に対しては Case-1 及び Case-2 に顕著に表われており、大きくなる傾向になっているが、Case-2 の橋台の反力には、その傾向は見られなかった。
- ・主塔がコンクリートのケースについて、主桁をコンクリートとした場合、反力は全て鋼桁の場合と比べて数倍大きくなるが、桁を複合化した場合、鋼桁の場合とほぼ同等であった。
- ・同じタイプである Type-2 と Type-6 は、支間を調整した Type-6 の方が反力が小さくなる結果を得た。
- ・Type-5 は、全てのケースについて反力は大きい。



←左橋台

※印は、スパン  $L=134.6+430.8+134.6\text{m}$

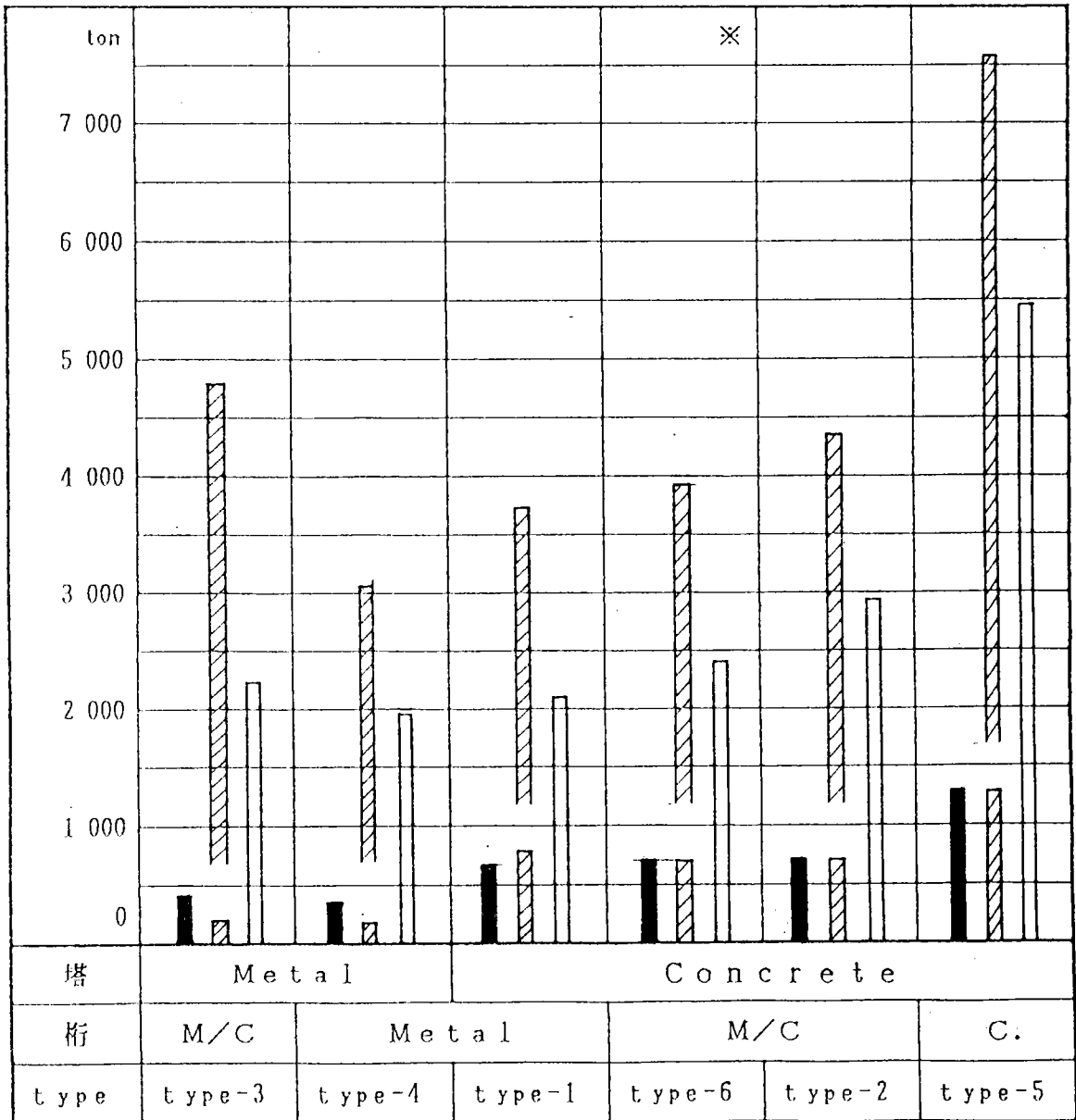
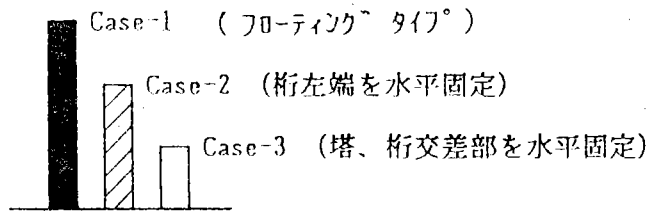


図 5-8 支点反力(主塔)の比較

(6) 塔の曲げモーメントについて (図5-9及び図5-10)

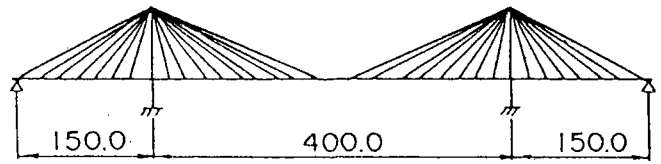
塔基部及び塔の桁交差部の曲げモーメントを比較したものを、それぞれ図5-9及び図5-10に示す。

図5-9 (塔基部) についての考察

- ・ Type-5の Case-3は、他と比べて非常に大きい値となったが、Case-1及び Case-2は、他のタイプと同程度であった。
- ・ Case-3は、塔の曲げが大きなケースであるが、これを Case-1のようにフローティングタイプにすれば低減し得ることを示していた。使用材料の影響については、Case-1及び Case-2が主塔をコンクリートとすると大きくなる傾向を明確に示していた。
- ・ Type-1, 2及び6を比べた場合、主桁を複合化して重くなっても Case-1及び Case-2では、鋼桁より同等あるいは逆に小さくなる傾向を示している。

図5-10 (桁交差部) についての考察

- ・ Type-5は、主塔がコンクリートである他のタイプとほとんど有意差はなかった。
- ・ 使用材料の影響については、主塔基部と同様に Case-1及び Case-2について主塔をコンクリートとする場合の影響が顕著に表われていた。



※印は、スパン  $L = 134.6 + 430.8 + 134.6\text{m}$

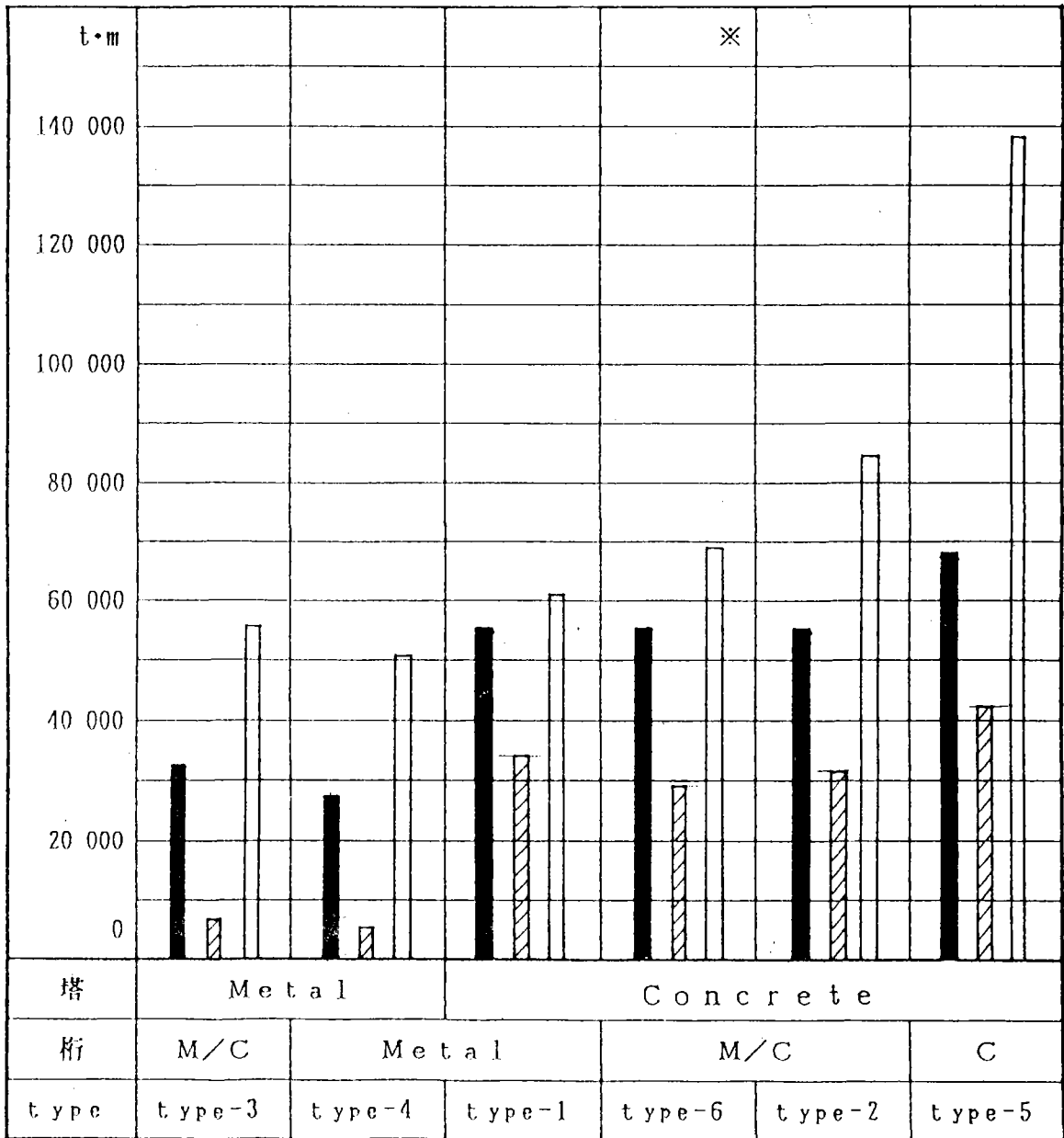
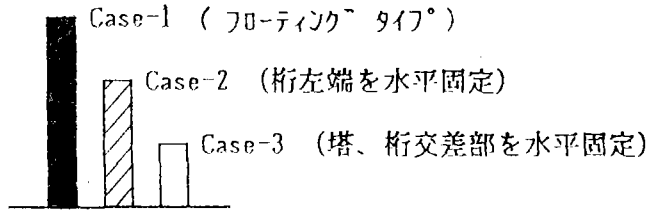
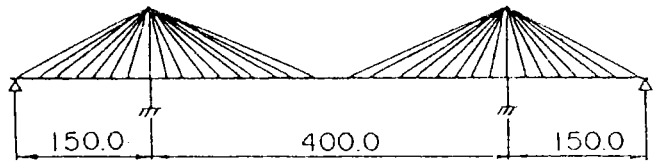


図 5-9 塔曲げモーメント (塔基部) の比較



※印は、スパン  $L = 134.6 + 430.8 + 134.6\text{m}$

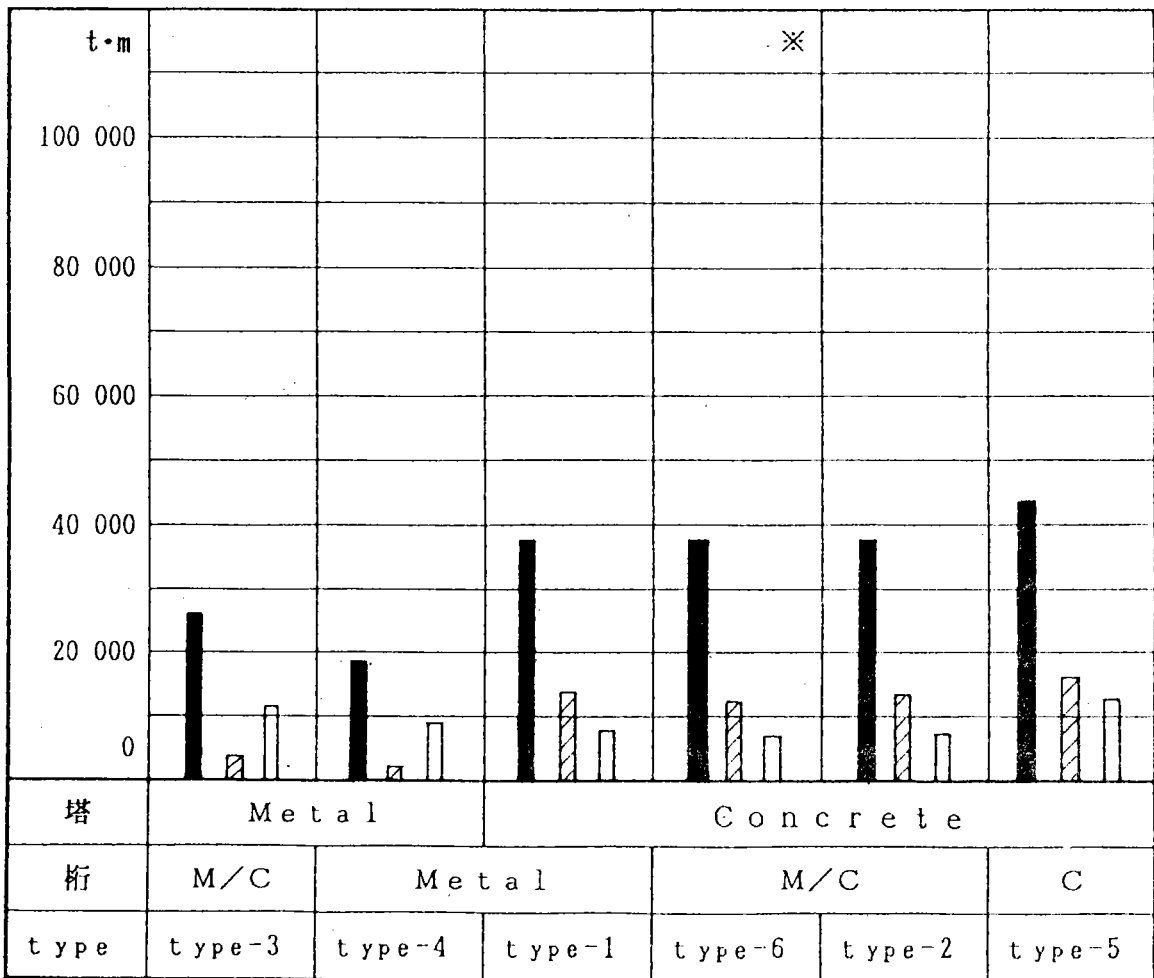
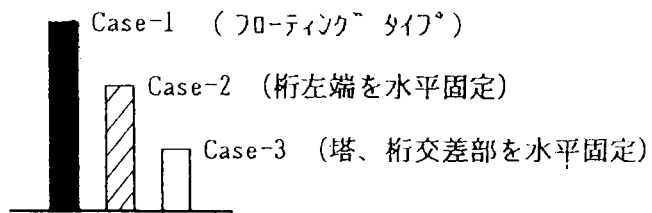


図 5-10 塔曲げモーメント (塔桁交差部) の比較

### 5-3 全体考察

#### (1) 主塔材料の差異による影響

##### (a) 主桁変位

主塔をコンクリートとすることにより、系全体の橋軸方向の剛性が高まることおよび鋼に比べ高い減衰効果を有することにより、最大応答水平変位は小さくなる。しかし鉛直変位は主塔を鋼にした場合の方が小さい傾向にある。

##### (b) 主塔曲げモーメントおよび反力

主塔がコンクリートの場合、鋼に比べ曲げモーメントは大きくなる。しかし、主桁の水平変位を主塔位置で拘束したケース (Case-3) では他のケースに比べてその差は顕著でない。このケースの場合、主塔の材料如何よりも主桁の重量に依存する傾向にあり、これは水平反力についてもあてはまる。

#### (2) 主桁材料の差異による影響

主塔がコンクリートの場合、水平変位および主桁と主塔との交差部の曲げモーメントについては、主桁が鋼であってもコンクリートであっても差は見られない。ただし、左支点で水平固定したケースの水平反力および主塔交差部で固定したケースにおける主塔基部の水平反力と曲げモーメントについては主桁重量に大きく依存する傾向がある。

#### (3) その他

(a) 典型的な複合斜張橋である主塔：コンクリート、主桁側径間：コンクリート、主径間：鋼としたType-2.6は静的解析における最適支間比に近いType-6 (1:3.2:1) のほうが主桁重量が小さく、このため主塔曲げモーメント、水平反力を小さくでき耐震設計上からも複合形式の特徴を活かすことができる。

(b) フローティングタイプは、主塔位置で水平拘束する場合に比べ主塔基部の曲げモーメント、水平反力が小さくなり耐震上有利といえるが、一方で主桁の水平変位が他の2ケースに比較してかなり大きく、伸縮装置等設計上の検討工夫が必要となる。

(c) 今回の検討テーマの一つであった支間比の異なる主桁複合形式の2タイプ (Type-2.6) で大差のない結果が得られたこと、また主桁が鋼か複合形式かによっても動的な影響が少ないことから、実施設計段階での個々の対処 (伸縮装置等) により静的解析での結果をもとに支間割、各部構造材の仕様区分等を決定しても実用上大きな問題はないと考えられる。

## 6. 今後の課題

### (1) 解析モデル、解析条件

主桁の支持・拘束条件については、すべて水平固定として検討したが実施設計においては反力分散、水平変位、温度応力の低減等を目的に主桁の支持方法をバネ、ダンパー等の弾性拘束を含めて検討する必要がある。

また、今回対象とした複合斜張橋では減衰定数を鋼: 0.02、コンクリート: 0.05として運動エネルギー分担比で検討を進めてきたが、実際の複合構造物における構造減衰をどう推定するか実験等を含めての検討が今後の課題の一つである。

### (2) その他

今回の動的解析は、昭和60年度の静的解析で対象としたモデルをベースに上部構造を主体に橋軸方向の地震に関する動的解析を行ったが、実施設計においては橋軸直角方向の検討を含め、下部工 (基礎地盤) の影響を含めた全体構造系としての検討が必要となる。