

格子解析モデル作成における鋼製橋脚剛度の扱い方

Dealing with the Rigidity of a Steel Pier when Formulating a Grillage Girder Analytic Model

吉元 大介*¹ 永谷 秀樹*² 小林 裕輔*³ 井上 雅夫*⁴
 Daisuke YOSHIMOTO Hideki NAGATANI Yusuke KOBAYASHI Masao INOUE

Summary

In analyzing a bridge through a model of its plane (two dimensional) framework, there are cases where more reasonable results are obtained if a grillage girder borne by T-piers is analyzed by taking into consideration the deformation of beams and columns. Therefore, a comparison was made between two models of three-span continuous box girder bridges, each with a RC slab deck, which differed in the form of their piers and the span length of the bridge. This was done to understand the extent to which differences between them influence the stress resultants of their main girders; to learn about the effectiveness of considering the pier spring; and to discover what effects the strain of rubber bearings have on a bridge. This paper reports the comparison and the result of analysis, and is intended to serve as reference material for future design work.

1. まえがき

通常、多主桁橋は2次元の平面骨組みモデルで解析を行っている。橋脚がコンクリートの場合は支点沈下の影響は小さいが、鋼製橋脚の場合（特にT型）は荷重の変化による橋脚の梁や柱の変形が大きいため、その影響を考慮して解析した方がよい場合がある。その際、計算量が多くなる立体解析を避けて平面で解析を行うには、橋脚をモデル化の際に工夫が必要となる。

今回、各方面の報告書を補間する意味で、橋脚形状や支間の異なる2種類の3径間連続RC床版箱桁橋（図-1、表-1参照）について、モデルの違いによりどの程

表-1 設計条件

共通	橋種	3径間連続非合成箱断面プレートガーダー
	幅員	総幅員 26.000m~27.500m 有効幅員 9.000m~10.500m, 15.250m
	舗装	アスファルト舗装厚 8cm
	床版	鉄筋コンクリート床版厚 23cm
	活荷重	B活荷重
	附帯荷重	添加物 30kg f/m ² , 吸音板 20kg f/m ² , 防音壁 200kg f/m
	支承	LRB支承
適用基準	道路橋示方書 同解説(日本道路協会 平成6年2月)	
A橋	橋長支間	橋長 175.000m 支間 57.725m+58.400m+57.675m
	桁高	2.400m
B橋	橋長支間	橋長 191.000m 支間 67.300m+77.000m+46.400m
	桁高	2.800m

度主桁断面力等が変わるかを比較し、橋脚バネの考慮の有効性やゴム支承の歪の影響など、今後の設計資料の一端とすべく解析結果を交えて報告する。

2. T型橋脚の平面骨組へのモデル化

T型橋脚の梁のたわみの影響を考慮するため、図-2¹⁾に示すような仮想梁(A-A', B-B')を設ける。

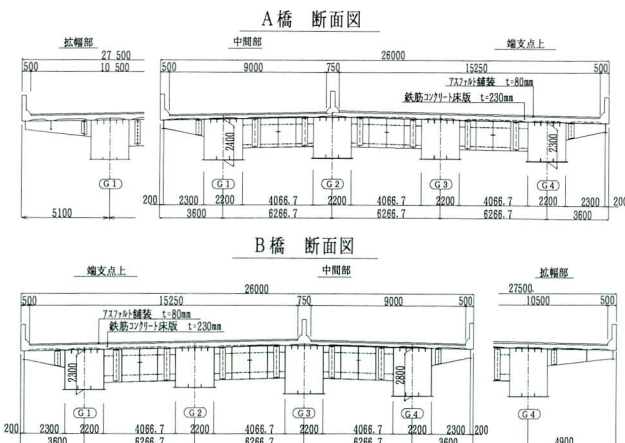


図-1 断面図

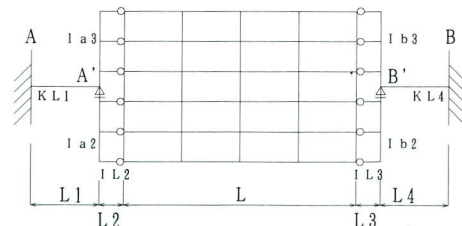


図-2 平面格子げた解析モデル¹⁾

*¹技術本部設計部設計開発課
 *²技術本部設計部設計第三課

*³技術本部先行技術研究室
 *⁴技術本部設計部設計第一課課長

この場合、仮想梁のねじり定数 $KL1$ 、 $KL4$ および部材長 $L1$ 、 $L4$ は図-3に示すようにT型橋脚と仮想梁の先端のたわみ $\delta a3$ 、 $\delta a'3$ が等しくなるように決定する。

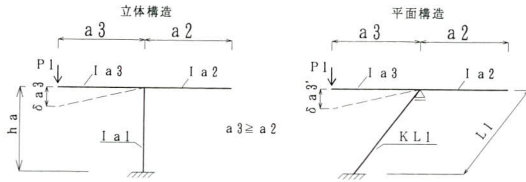


図-3

また、このことは図-4に示す2つのモデルにおいてたわみ角 $\theta3$ とねじり角 $\theta3'$ が等しくなることになる。

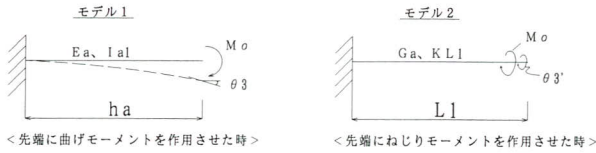


図-4

モデル1のたわみ角 $\theta3$ は次式より得られる。

$$\theta3 = M_0 \cdot ha / (Ea \cdot Ia1) \quad \text{---①}$$

モデル2のねじり角 $\theta3'$ は次式より得られる。

$$\theta3' = M_0 \cdot L1 / (Ga \cdot KL1) \quad \text{---②}$$

①, ②式より、 $\theta3 = \theta3'$ の条件で次式が導かれる。

$$M_0 \cdot ha / (Ea \cdot Ia1) = M_0 \cdot L1 / (Ga \cdot KL1)$$

$$\therefore KL1 = Ia1 \cdot \frac{Ea}{Ga} \cdot \frac{L1}{ha} \quad \text{---③}$$

同様にして

$$KL4 = Ia4 \cdot \frac{Eb}{Gb} \cdot \frac{L4}{hb} \quad \text{---④}$$

③, ④式で求められる換算剛度を用いて橋脚のモデル化を行う。また、支点部に用いた仮想部材の断面2次モーメント $IL2$ 、 $IL3$ 及び部材長 $L2$ 、 $L3$ は図-6に示す δ が無視できる値($\delta \approx 0$)となるように決定する。解析上の各部材の結合条件を図-5に示す。

また、B橋の門型ラーメン橋脚(A2脚)は平面フレーム解析を用いて、図-3のように立体構造を平面構造でモデル化し、ラーメン橋脚と仮想梁の支点上のたわみ $\delta a3$ 、 $\delta a'3$ が等しくなるよう仮想梁のねじり定数および部材長を決定した。

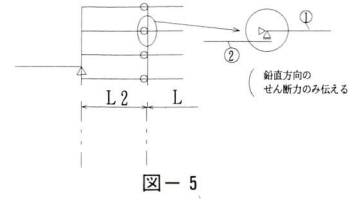
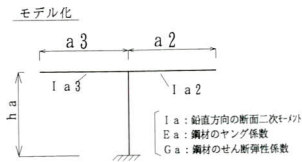


図-5



図-6



上図に示すように各橋脚の断面定数、寸法を定義する。

図-7

3. 解析モデル

解析は橋脚形状、支間長および非常駐車帯位置の異なる2タイプ(A橋, B橋)で行った。A橋B橋の解析モデルの種類を図-8, 9に、橋脚形状および上部工反力の載荷位置を図-10, 11に示す。

4. 解析結果および考察

(1) 橋脚モデル化の影響

モデルごとの解析結果の抜粋を表-2~表-7に示す。また、径間部の曲げモーメント, 死荷重たわみ, 支

① 格子解析モデル (橋脚モデル化無し) TYPE-1: 剛支点 TYPE-2: ゴム支承支点 (バネ支点)	
② 格子解析モデル (橋脚モデル化有り) TYPE-3: 橋脚モデル化	
③ 立体解析モデル TYPE-4: 立体解析 (死荷重のみ)	

図-8 A橋の解析モデル

点反力の比較を図-12、図-13に示す。その結果以下のことが判明した。

- 仮想梁（脚バネ）を用いたモデルではたわみ、反力、曲げモーメントが立体解析モデルとほぼ一致している。
- 剛支点で解析した場合、反力、曲げモーメントは脚バネモデルに比べて外桁で大きく、内桁で小さくなる。両者の差はA橋で最大8%、B橋で14%ほどである。
- 径間部の死荷重たわみの絶対量は脚バネモデルの方が、剛支点モデルに比べ、最大で20mmほど大きくなるが主桁自体のたわみ差は10mmほどである。

以上の結果を各構造物の安全性の観点から述べると、次のようになる。

- 橋脚の設計では、剛支点の方が外桁反力は大きく、梁の設計曲げモーメントを過大に算出することになるで安全側となる。
- 支承の設計では、剛支点とした場合の外桁反力が最大である。1支承線上に同一支承を用いる場合には安全側の設計といえるが、この傾向は当橋に限ってのことであり、すべての橋梁にあてはまることでは

ない。

- 主桁の断面力では、剛支点の場合、外桁の方が大きく内桁が小さく算出される傾向にある。脚バネを考慮した場合に比べ、10%前後の増減があり、安全上橋脚横梁のたわみを無視し得ない。

(2) ゴム支承の影響

通常、ゴム支承に使用されるゴム自体は鋼に比べると柔らかい（ヤング係数は鋼の約1/70000）ものであるが、鋼板で補強された積層ゴムは鋼板が変形の節となるため、鉛直剛性がきわめて高くなる（本橋の場合、無補強ゴムの約150倍）。

このため、表-5の支点上のたわみ値が示すように最大1.1mmと小さい。さらに主桁断面力に及ぼす影響は各支承沈下量の相対差であるため、きわめて小さいものとなる。

また、ゴム支承の鉛直剛性は⑤式で算出され、解析モデルで使用した鉛直剛性Kcは230000~860000t/mの範囲であった。

$$K_c = E_g \cdot A / \sum t_e \quad \text{—⑤}$$

ここに E_g : 積層ゴムのヤング係数

A : 圧縮面積

$\sum t_e$: ゴムの総厚

以上のことから、上部工設計時にはゴム支承の影響を無視し得ると判断できる。

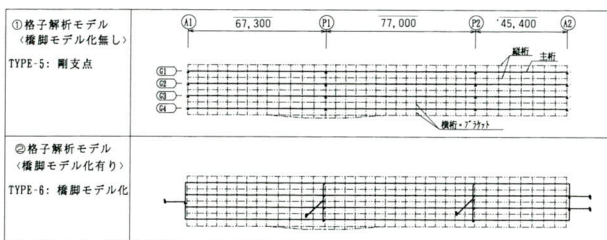


図-9 B橋の解析モデル

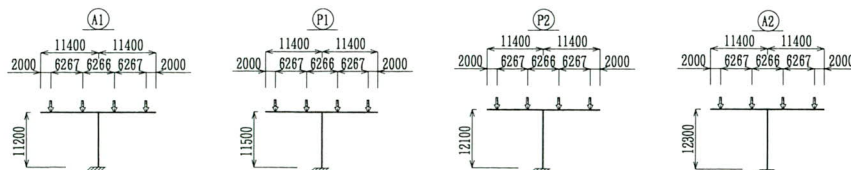


図-10 A橋の橋脚形状

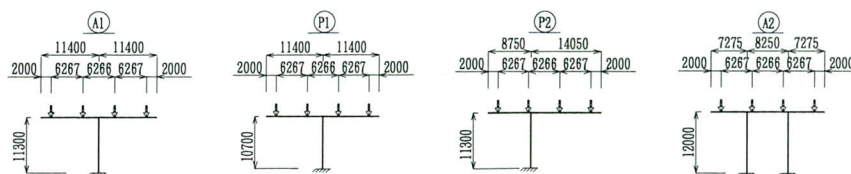


図-11 B橋の橋脚形状

表-2 ①TYPE-1:A橋 剛支点モデル

鉛直たわみ (mm)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	165.7	75.0	240.7	0.0	0.0	0.0	16.5	61.8	78.3	0.0	0.0	0.0	159.7	71.0	230.7
G2	157.2	66.2	223.3	0.0	0.0	0.0	14.7	56.7	71.3	0.0	0.0	0.0	155.5	64.5	220.0
G3	154.1	65.8	219.9	0.0	0.0	0.0	15.5	57.0	72.4	0.0	0.0	0.0	154.3	64.6	218.8
G4	156.0	72.0	227.9	0.0	0.0	0.0	19.5	62.7	82.1	0.0	0.0	0.0	157.2	71.2	228.4

反力 (tf)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	-	-	0.0	696.1	291.2	987.3	-	-	0.0	629.0	263.4	892.4	-	-	0.0
G2	-	-	0.0	459.8	202.8	662.7	-	-	0.0	473.2	202.7	675.9	-	-	0.0
G3	-	-	0.0	450.6	203.0	653.6	-	-	0.0	446.9	201.5	648.4	-	-	0.0
G4	-	-	0.0	615.6	264.1	879.6	-	-	0.0	621.1	263.6	884.7	-	-	0.0

曲げモーメント (tf・m)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	2663	1390	4054	-3495	-1332	-4827	822	953	1774	-3149	-1185	-4334	2408	1222	3630
G2	2227	1081	3308	-2552	-874	-3425	679	768	1447	-2527	-867	-3394	2127	1013	3140
G3	2113	1038	3151	-2488	-866	-3353	681	772	1453	-2467	-861	-3327	2149	1030	3180
G4	2285	1211	3496	-3085	-1184	-4268	810	943	1753	-3105	-1185	-4290	2340	1209	3549

表-3 ②TYPE-3:A橋 橋脚モデル化

鉛直たわみ (mm)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	172.6	83.8	256.5	5.6	18.7	24.3	21.6	67.8	89.4	10.2	21.3	31.5	165.8	80.1	245.9
G2	161.0	68.6	229.6	-0.7	4.7	4.0	18.0	58.1	76.1	0.7	6.3	6.9	158.7	66.9	225.5
G3	156.9	67.7	224.6	2.0	7.5	9.6	20.3	59.3	79.6	0.1	6.3	6.4	156.5	66.9	223.4
G4	159.6	79.4	239.0	13.9	22.9	36.8	29.0	70.7	99.7	8.6	21.5	30.1	160.4	80.4	240.7

反力 (tf)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	-	-	0.0	622.2	251.0	873.2	-	-	0.0	540.4	220.7	761.0	-	-	0.0
G2	-	-	0.0	542.4	224.2	766.6	-	-	0.0	558.6	227.0	785.6	-	-	0.0
G3	-	-	0.0	539.7	229.2	768.9	-	-	0.0	530.3	226.2	756.6	-	-	0.0
G4	-	-	0.0	517.5	216.9	734.4	-	-	0.0	540.7	221.9	762.7	-	-	0.0

曲げモーメント (tf・m)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	2636	1385	4021	-3352	-1251	-4603	796	952	1747	-2923	-1089	-4012	2392	1218	3610
G2	2249	1086	3334	-2761	-931	-3692	710	773	1483	-2720	-919	-3639	2147	1018	3165
G3	2138	1044	3183	-2677	-917	-3594	712	778	1490	-2665	-915	-3581	2170	1035	3205
G4	2272	1209	3481	-2812	-1066	-3878	789	942	1732	-2924	-1096	-4020	2322	1206	3527

表-4 ③TYPE-4:A橋 立体モデル

鉛直たわみ (mm)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	176.8	-	-	5.2	-	-	23.5	-	-	13.1	-	-	167.6	-	-
G2	164.6	-	-	0.6	-	-	20.6	-	-	3.3	-	-	162.1	-	-
G3	157.8	-	-	4.2	-	-	22.4	-	-	1.8	-	-	159.8	-	-
G4	155.9	-	-	15.6	-	-	28.2	-	-	8.5	-	-	161.8	-	-

反力 (tf)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	-	-	-	616.7	-	-	-	-	-	531.0	-	-	-	-	-
G2	-	-	-	547.4	-	-	-	-	-	573.2	-	-	-	-	-
G3	-	-	-	547.4	-	-	-	-	-	546.7	-	-	-	-	-
G4	-	-	-	511.0	-	-	-	-	-	521.6	-	-	-	-	-

曲げモーメント (tf・m)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	2611	-	-	-3252	-	-	772	-	-	-2950	-	-	2376	-	-
G2	2238	-	-	-2803	-	-	691	-	-	-2783	-	-	2141	-	-
G3	2132	-	-	-2755	-	-	695	-	-	-2712	-	-	2168	-	-
G4	2256	-	-	-2888	-	-	761	-	-	-2892	-	-	2308	-	-

表-5 ①TYPE-2:A橋 ゴム支承モデル

鉛直たわみ (mm)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	166.6	75.2	241.8	0.8	0.3	1.1	17.1	61.9	79.1	0.8	0.2	1.0	160.5	71.2	231.7
G2	157.9	66.3	224.2	0.6	0.2	0.7	15.3	56.7	72.0	0.6	0.2	0.8	156.2	64.7	220.9
G3	154.8	66.0	220.7	0.6	0.2	0.7	16.0	57.1	73.1	0.6	0.2	0.7	155.0	64.7	219.7
G4	156.7	72.2	228.9	0.7	0.2	1.0	20.1	62.8	82.9	0.7	0.2	1.0	158.0	71.4	229.4

反力 (tf)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	-	-	0.0	693.7	289.4	983.2	-	-	0.0	627.6	262.0	889.6	-	-	0.0
G2	-	-	0.0	462.6	199.6	662.2	-	-	0.0	474.0	199.5	673.5	-	-	0.0
G3	-	-	0.0	452.1	199.6	651.7	-	-	0.0	449.4	198.4	647.8	-	-	0.0
G4	-	-	0.0	613.6	262.6	876.2	-	-	0.0	619.0	262.2	881.2	-	-	0.0

曲げモーメント (tf・m)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	2662	1390	4053	-3490	-1330	-4820	821	953	1774	-3145	-1183	-4329	2408	1222	3629
G2	2227	1082	3309	-2558	-874	-3432	679	769	1448	-2530	-866	-3396	2127	1013	3141
G3	2113	1038	3152	-2492	-865	-3357	681	773	1454	-2472	-860	-3332	2150	1031	3181
G4	2284	1211	3494	-3080	-1182	-4262	810	943	1752	-3101	-1183	-4284	2339	1209	3548

表-6 ④TYPE-5:B橋 剛支点モデル

鉛直たわみ (mm)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	153.2	85.8	239.0	0.0	0.0	0.0	164.3	103.1	267.5	0.0	0.0	0.0	22.7	36.2	58.9
G2	150.3	78.7	229.0	0.0	0.0	0.0	162.1	95.2	257.3	0.0	0.0	0.0	19.9	32.4	52.3
G3	151.8	78.6	230.5	0.0	0.0	0.0	164.3	95.5	259.8	0.0	0.0	0.0	20.3	32.4	52.7
G4	157.1	85.9	243.0	0.0	0.0	0.0	170.2	104.1	274.3	0.0	0.0	0.0	23.2	36.2	59.4

反力 (tf)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	-	-	-	779	300	1079	-	-	-	626	269	895	-	-	0
G2	-	-	-	629	232	861	-	-	-	490	214	703	-	-	0
G3	-	-	-	623	233	856	-	-	-	516	215	730	-	-	0
G4	-	-	-	895	352	1247	-	-	-	646	270	916	-	-	0

曲げモーメント (tf・m)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	2565	1426	3990	-5347	-1720	-7067	2160	1274	3434	-3369	-1352	-4721	869	902	1771
G2	2501	1285	3786	-4847	-1372	-6219	2073	1131	3204	-3020	-1108	-4129	785	771	1556
G3	2557	1303	3861	-4925	-1381	-6306	2098	1136	3234	-3110	-1119	-4229	793	771	1564
G4	2651	1442	4093	-5774	-1813	-7587	2187	1263	3451	-3485	-1364	-4849	892	902	1794

表-7 ④TYPE-6:B橋 橋脚モデル化

鉛直たわみ (mm)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	157.4	90.7	248.0	10.3	16.6	26.9	159.5	105.6	265.0	-10.0	5.8	-4.2	16.8	36.9	53.6
G2	154.5	80.7	235.2	0.0	4.4	4.4	168.5	96.8	265.3	-1.2	0.3	-0.9	20.8	32.6	53.4
G3	158.0	80.8	238.9	4.6	5.1	9.6	184.3	100.0	284.3	17.7	8.2	25.9	30.5	33.8	64.3
G4	167.5	91.2	258.7	25.5	18.9	44.4	205.9	113.3	319.3	46.4	20.1	66.5	45.2	40.0	85.1

反力 (tf)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	-	-	-	557	221	851	-	-	-	539	236	775	-	-	0
G2	-	-	-	824	295	1120	-	-	-	611	242	853	-	-	0
G3	-	-	-	872	296	1137	-	-	-	638	248	887	-	-	0
G4	-	-	-	676	266	946	-	-	-	485	204	689	-	-	0

曲げモーメント (tf・m)															
	A1-P1			P1			P1-P2			P2			P2-A2		
	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
G1	2531	1421	3953	-4675	-1508	-6183	2142	1273	3414	-3252	-1299	-4550	823	895	1718
G2	2530	1293	3823	-5399	-1523	-6923	2116	1137	3254	-3343	-1193	-4536	813	777	1590
G3	2588	1311	3899	-5618	-1551	-7169	2143	1145	3288	-3327	-1177	-4504	845	781	1626
G4	2616	1438	4054	-5222	-1611	-6833	2179	1265	3444	-2926	-1161	-4087	909	903	1812

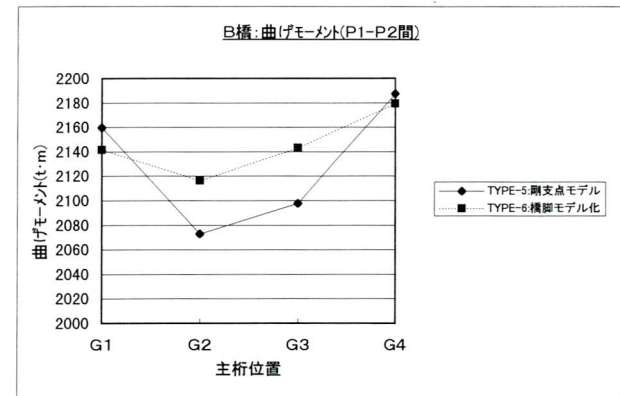
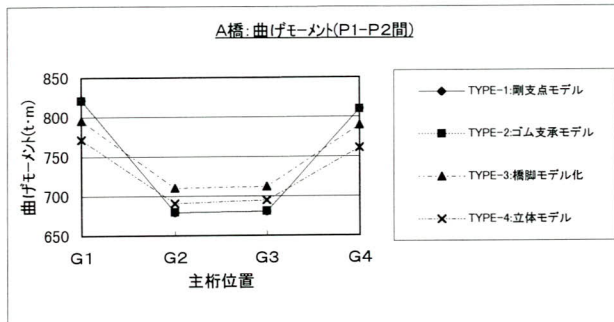
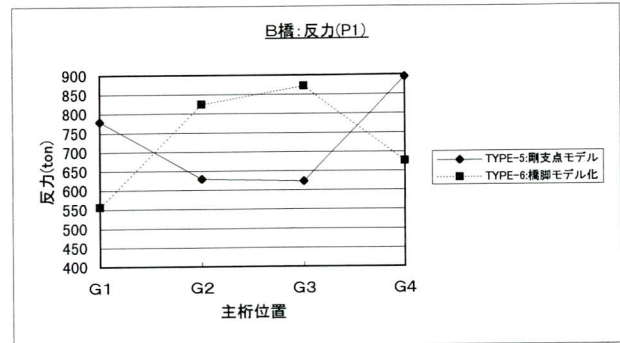
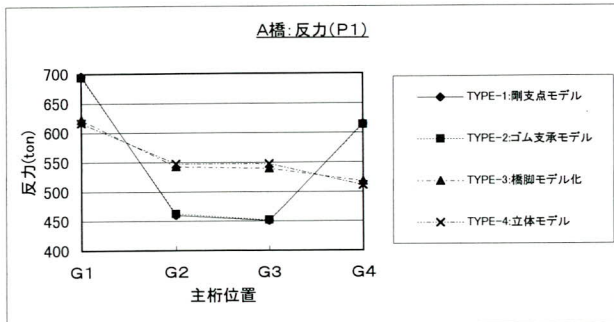
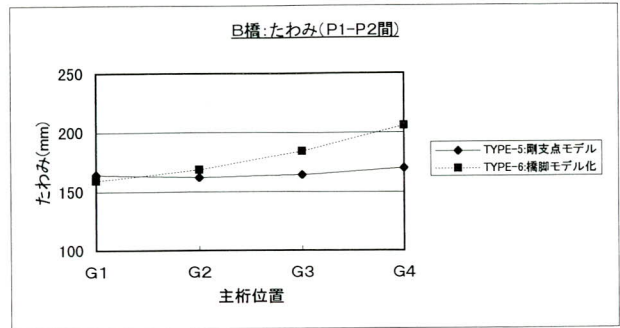
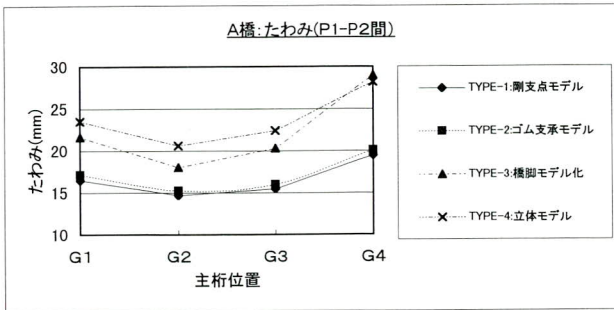


図-12 解析モデルの比較 (A橋)

図-13 解析モデルの比較 (B橋)

5. まとめ

今回、実橋を解析モデルとして上部構造に対するT型橋脚のたわみの影響、ゴム支承の影響および橋脚を含めた平面解析モデルの妥当性を検証した。

結果をまとめると以下ようになる。

① T型橋脚のたわみの影響

たわみの影響は曲げモーメントより反力の方が影響は大きい。また、B橋のように不均等な張出しの橋脚を有する場合はたわみや断面力に大きな偏りがでるため注意が必要である。

② ゴム支承の影響

ゴム支承の鉛直剛性は非常に高く、上部工設計時には無視し得ると判断できる。

③ 平面解析モデルの妥当性

立体解析と比較して、橋脚を平面格子モデルとして解析しても、前述に示す方法であれば妥当な値が得られる。

今回のような張出し量10mを越えるようなT型橋脚を有する上部工では橋脚のたわみを考慮したモデルで設計の方が妥当といえる。

<参考文献>

- 1) 阪神高速道路公団；構造物設計基準、第2編 鋼構造、平成6年5月

1996. 10. 31受付