

I - 4 折れ角を有する方杖ラーメン橋の偶角部解析

中央コンサルタンツ(株)	正員	大野和彦
中央コンサルタンツ(株)	正員	松井義孝
北海道開発局	正員	高橋 渡
北海道大学	正員	林川俊郎
専修大学道短大	正員	金子孝吉

1. まえがき

方杖ラーメン橋の偶角部を設計するには、ブライヒ及び大野の式を用いて曲り梁の計算を行っている例が多い。本稿では、有限要素法を用いて偶角部の応力計算を行ったので、その結果を報告する。本例は道路線形に対応させる為に、側径間部で主桁を折っている。折れ角は $\theta = 6^{\circ} 02'$ (A1側), $\theta = 9^{\circ} 04'$ (A2側)であり、主桁折点は、偶角部のスリ付け部をさけた位置とした。主桁は、鋼 I 桁 2主桁より構成され、脚の角度は水平軸より 50° とした。今回の有限要素法解析では、次の事に着目する。

- (1) フランジ補強リブの有効性
- (2) 曲りフランジのせん断応力度

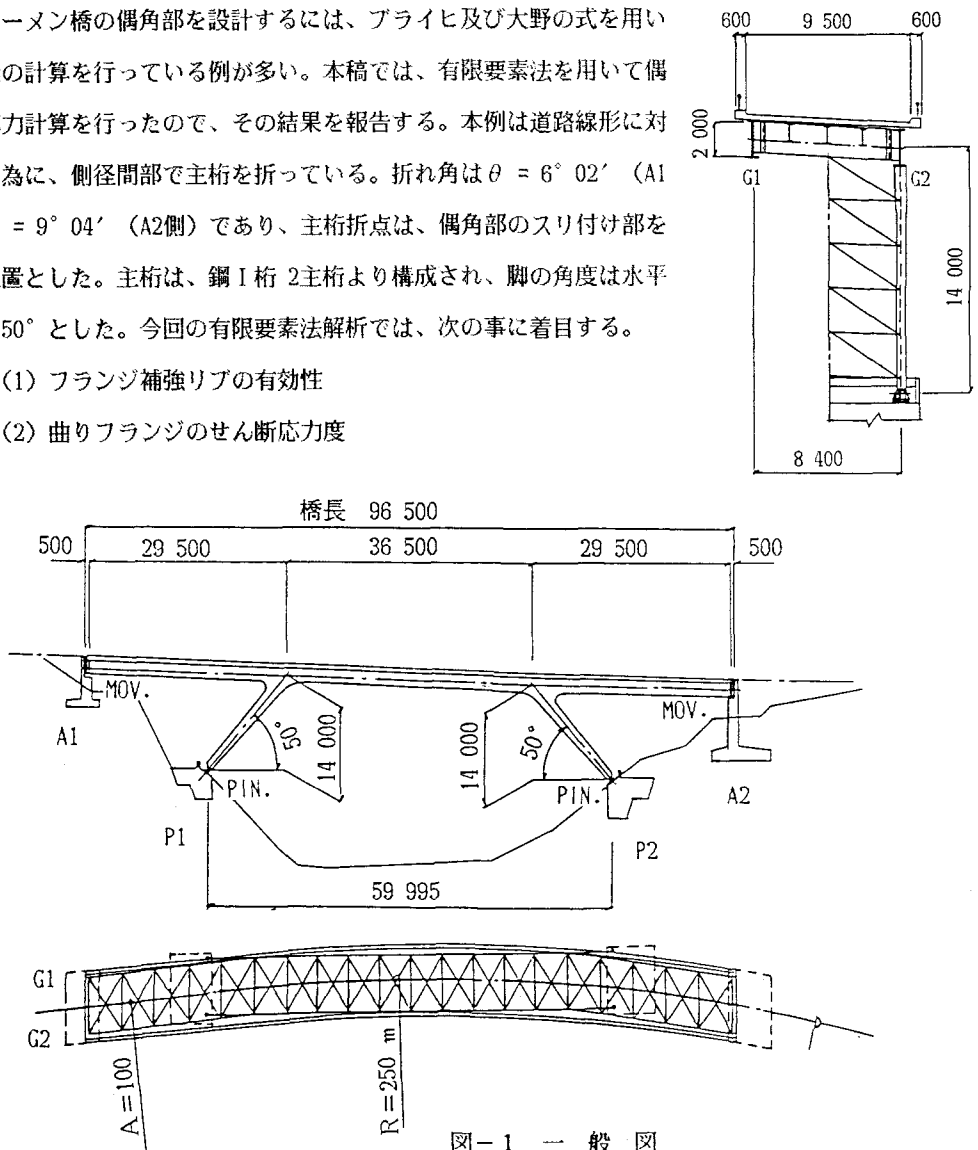


図-1 一般図

2. 構造諸元

橋幅	長員	96.50m	平面線形	A=100, R=250m
橋支間	格間	9.50m	縦断線形	- 2.800%
ラーメン支間		1等橋	横断線形	2%~5%
主桁腹板高		29.50+36.50+29.50	脚構造斜角	$\theta = 50^\circ$ (水平軸より)
使用鋼材		59.995	支承条件	A1側 $83^\circ 57' 52''$
		2.00m		A2側 $80^\circ 56' 01''$
		SM53B, SM58		梁部 可動
				脚部 ビン固定

3. 解析モデルと解析方法

偶角部のFEM解析を行う前に、横構部材までを考慮して立体格子構造として断面力を算出し、曲げモーメントと軸力を受ける部材として道路橋示方書に従い、全体座屈及び局部座屈に対して設計する。

立体格子構造解析には、床版張出長の相違、骨組の縦横断線形及び平面的な折れ角も考慮する。偶角部のFEM解析は、許容応力度に対する実応力度の比率の大きい、G2主桁P1脚を解析する。メッシュ割りするのは、図-2上に示す曲率部材を含む節点間とした。全体モデルは、図-2下に示すモデルとした。

使用するプログラムは MSC/NASTRAN で、節点数は 1157、要素数は 1208 である。

今回のモデル化は、偶角部のみをモデル化する方法に比べ、次の様な利点がある。

- 1) 節点の断面力 (M,N,S)を与えるのではなく、直接載荷するので、変位、反力の照査が容易である。
- 2) 偶角部以外の梁、脚部材は梁要素として扱うので、要素数の増加は極めて少ない。

解析モデルは下記の条件で作成した。

- 1) 3次元 (X,Y,Z)座標系で解析する為、Z方向の変位を拘束する様に境界条件を設定した。
- 2) メッシュ部と梁要素との結合点(Pt.27,29,56)では、平面保持の法則が成立する境界条件を設定した。
- 3) メッシュ部の要素は、腹板、フランジ、リブのみで、他の補剛材は考慮しない。
- 4) 曲りフランジは突出幅を片側3分割し、リブ間隔 (32cm 程) の 1/2で要素割りした。
- 5) 活荷重の載荷は2ケースとし、Pt.27,29 に各々最大曲げモーメントが生じる様に載荷位置を求めておく。CASE-1は、Pt.27が、CASE-2はPt.29に最大曲げが生じる。

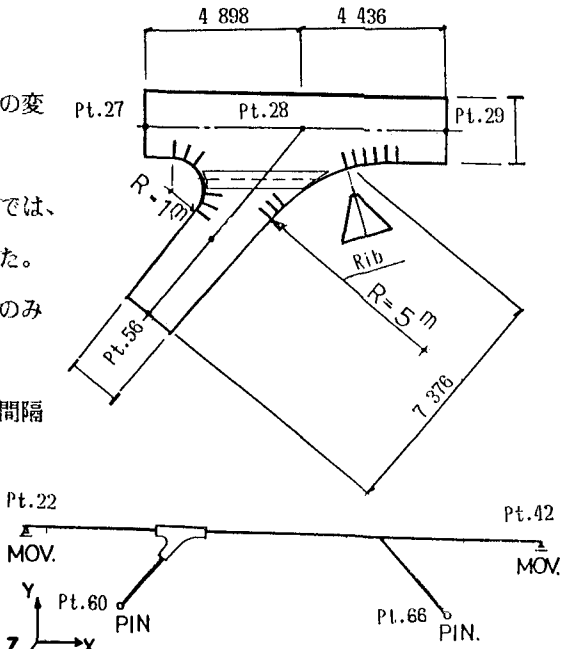


図-2 FEM解析モデル

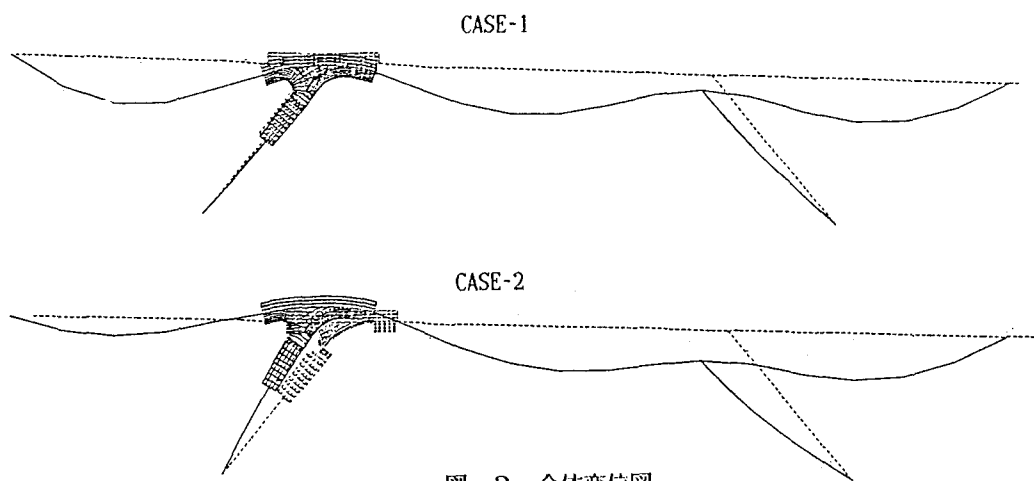


图-3 全体变位图

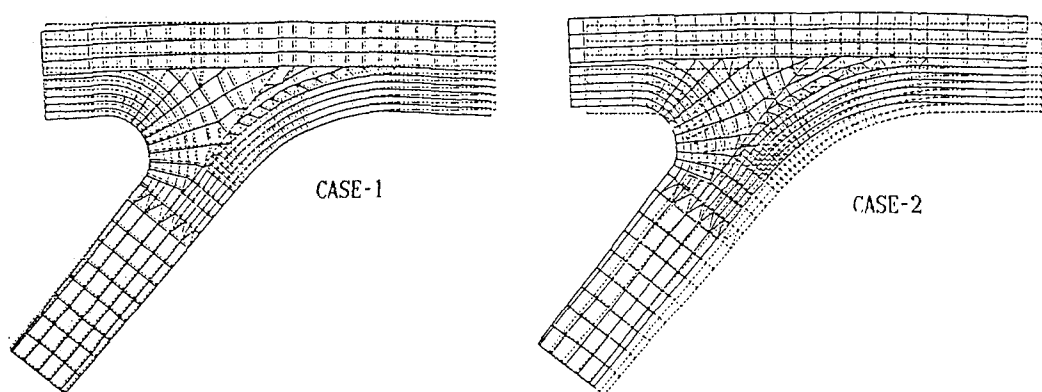


图-4 隅角部变位图

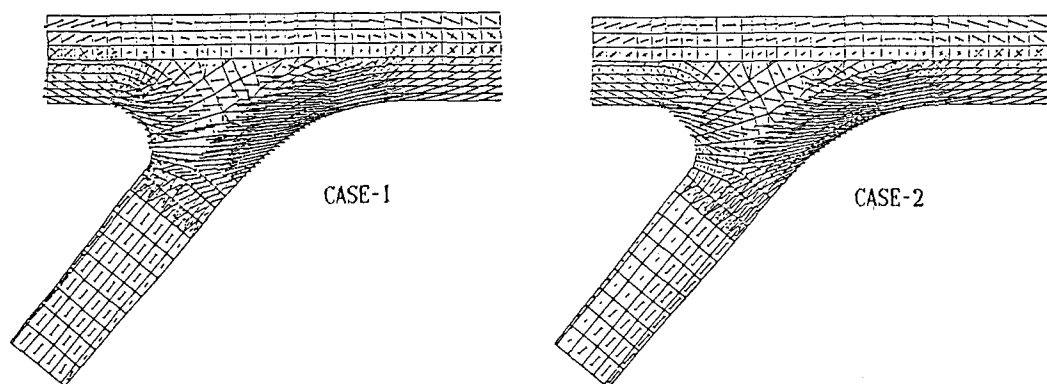


图-5 主应力图

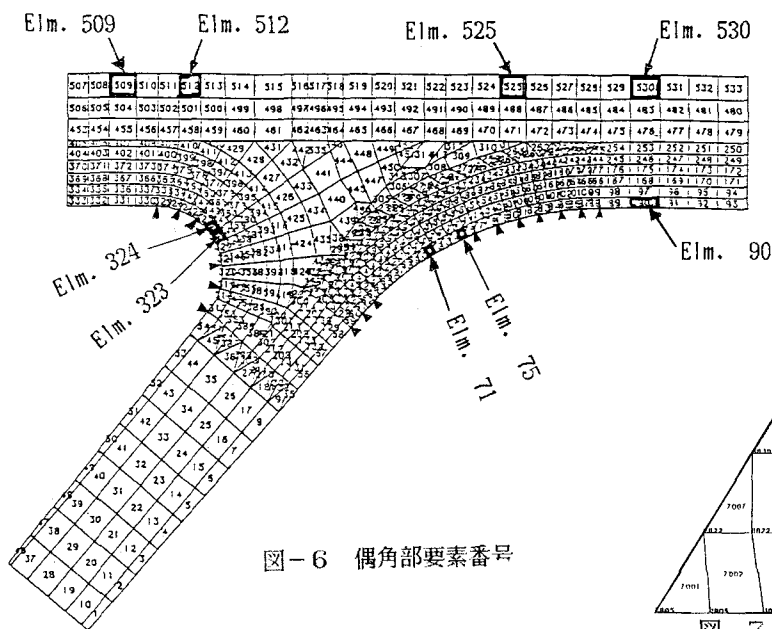


図-6 隅角部要素番号

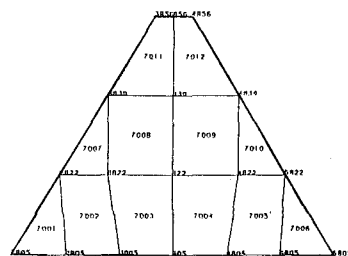


図-7 補強リブ要素

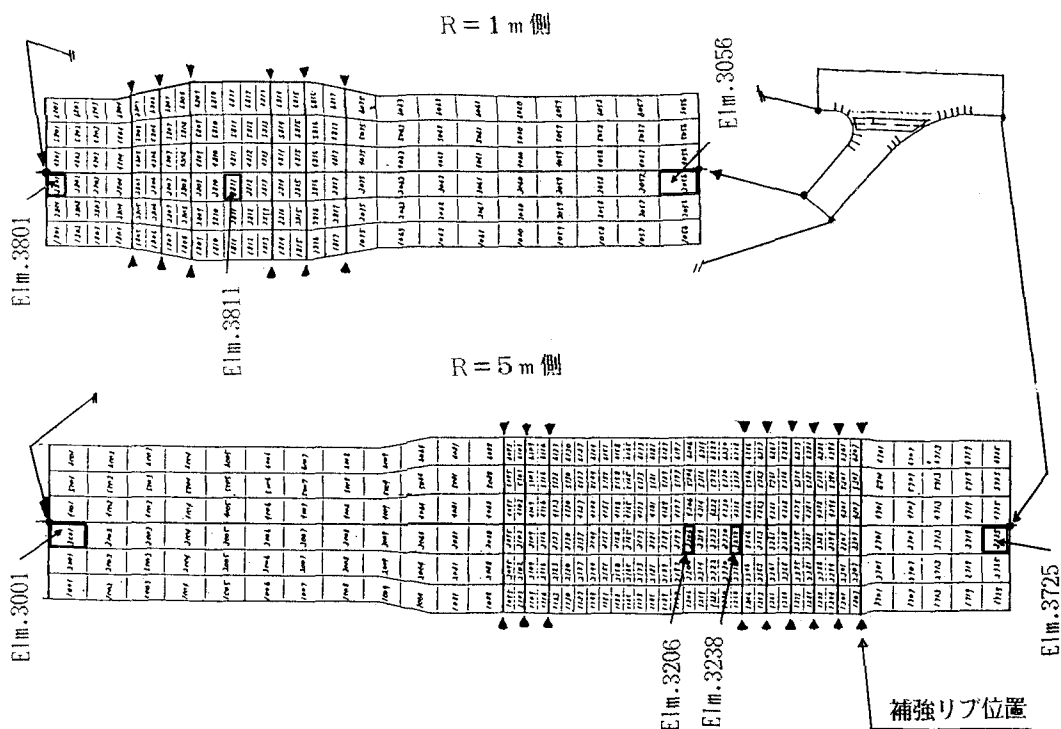


図-8 曲率フランジ要素番号

CASE-1					CASE-2				
要素番号	σ_1	σ_2	τ_{max}	板厚	要素番号	σ_1	σ_2	τ_{max}	板厚
512	1134	-104	619	1.6	525	1332	-75	704	1.6
324	-585	-2136	775	1.6	75	-389	-2239	925	1.6
71	-121	-1912	896	1.6	323	144	-1765	954	1.6
509	1739	-189	964	1.1	530	1641	-158	899	1.1
90	81	-1704	892	1.1	90	63	-1996	1029	1.1

表-1 腹板応力度

材 質: 板厚は cm 単位
 1.6cm 厚は SM53B
 1.1cm 厚は SM53B
 σ_1 : 最大主応力度 (kg/cm²)
 σ_2 : 最小主応力度 (kg/cm²)
 τ_{max} : 最大せん断応力度 (kg/cm²)

R = 1m CASE-1

要素番号	σ_2	τ_{max}	板厚	材 質
3801	-1251	617	2.2	SM53B
3802	-1424	697	"	"
3803	-1538	743	"	"
3804	-1197	618	3.2	SM58
3805	-1376	875	3.6	SM53B
3806	-1428	953		
3807	-1401	956		
3808	-1516	942		
3809	-1674	1098		
3810	-1754	1298		
3811	-1969	1291		
3812	-1867	1180		
3813	-1500	997		
3814	-1257	705		
3815	-1015	556	3.6	SM53B
3816	-954	621		
3817	-800	482		
3075	-776	369		
3063	-709	352		
3062	-739	368		
3061	-744	372		
3060	-747	375		
3059	-747	377		
3058	-750	373		
3057	-740	369	3.6	SM53B
3056	-757	381		

表-2 フランジ応力度

— — — は補強リブ位置を示す。

R = 5m CASE-2

要素番号	σ_2	τ_{max}	板厚	材 質
3001	-857	428	3.6	SM53B
3002	-849	427	3.2	SM58
3003	-876	437		
3004	-884	437		
3005	-895	446		
3006	-904	453		
3007	-913	454		
3008	-908	452		
3009	-946	469		
3064	-942	478		
3081	-966	515		
3088	-1039	506	3.2	SM53B
3095	-1075	513		
3102	-1111	583		
3109	-1119	601		
3116	-1293	656		
3123	-1492	767		
3130	-1681	988		
3137	-1820	1203		
3144	-2007	1334		
3151	-2167	1431		
3158	-2274	1518	3.2	SM53B
3165	-2356	1594		
3173	-2444	1648		
3181	-2544	1696		
3189	-2603	1758		
3197	-2669	1810		
3206	-2690	1846		
3214	-2690	1840		
3222	-2616	1796		
3230	-2456	1640		
3238	-2325	1338	3.2	SM53B
3246	-2197	1147		
3253	-2125	1147		
3261	-2133	1176		
3268	-2151	1186		
3275	-2169	1180		
3281	-2165	1180		
3288	-2151	1183		
3294	-2134	1179		
3301	-2098	1162		
3307	-2051	1110	3.2	SM53B
3701	-2000	1021		
3707	-2004	994		
3713	-1932	965		
3719	-1831	907		
3725	-1697	825		

表-3 フランジ応力度

要素番号	σ_2	$\tau_{\max}$	板厚	材 質
1206	-1555	829	3.2	SM58
2206	-1895	1209	↓	↓
3206	-2690	1846		
4206	-2690	1846		
5206	-1895	1209		
6206	-1555	829		

表-4 補強リブ無し

要素番号	σ_2	$\tau_{\max}$	板厚	材 質
1238	-2257	1097	3.2	SM58
2238	-2234	1088	"	"
3238	-2325	1338	"	"

表-5 補強リブ有り

要素番号	σ_2	$\tau_{\max}$	板厚	材 質
1801	-1087	666	3.2	SM53B
2801	-998	645	"	"
3801	-1015	617	"	"
1056	-224	377	3.6	SM53B
2056	-226	378	"	"
3056	-231	381	"	"
1001	-857	428	3.6	SM53B
2001	-857	428	"	"
3001	-857	428	"	"
1725	-1745	871	3.2	SM53B
2725	-1729	860	"	"
3725	-1697	843	"	"

表-6 補強リブ無し (R = ∞)

4. 解析結果

要素の分割図を、図の6～8に、FEM解析の結果を表-1～表-6に示す。CASE-1, CASE-2 共に圧縮応力度（負符号は圧縮応力度）が支配的である。表-1は腹板要素の結果で、主応力度の最大、最小値は1739, -2239 kg/cm²である。最大せん断応力度は1029 kg/cm²である。最大、最小応力度の発生している要素を図-6中に示す。フランジ応力度は表-2、3に示した。R=1m側はCASE-1で、R=5m側はCASE-2で危険側の応力度が発生した。各要素の応力度は板厚の上縁、下縁で出力されるので、表には σ_2 、 τ の大きい方を示した。フランジ応力度は、腹板の左右で対称である。フランジ曲率区間に、補強リブを配置したが、スプライス板の区間は配置して無い。補強リブの配置出来ない区間で、主応力度が最大となった。又、主応力度が最大となる要素は、最大せん断応力度も最大となる。表-4は、最大応力度が発生した要素の、フランジ幅方向の応力度分布で、腹板近傍で大きく、フランジ端で小さくなる。これは、曲り梁の特性である。表-5には、補強リブ近傍要素の応力度を示した。表-6は曲率の無い区間の応力度で、フランジ幅方向の不均衡は生じていない。リブの板厚は1.6cm (SM58)で、最大、最小主応力度は、476, -919 kg/cm²、最大せん断応力度は558 kg/cm²であった。

5. まとめ

- 1) フランジ補強リブは、有効に働き、応力の集中を防いでいる。部材の連結位置は、輸送上可能であれば、曲率部を避けるべきである。
- 2) 簡易計算では、フランジの、せん断応力が問題となる事は無いが、本例の様な断面決定方法を行う場合は注意が必要である。

** 参考文献 **

- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| 1) 道路橋示方書・同解説 (I, II) | (昭和55年 日本道路協会) |
| 2) 土木工学ハンドブック | (昭和29年 土木学会) |
| 3) 土木学会誌 第29巻 第4号 | (昭和18年 大野 謙) |
| 4) 土木学会誌 第29巻 第10号 | (昭和18年 大野 謙) |
| 5) 万化著 鉄骨構造 下巻 | (昭和28年 コロナ社) |
| 6) ラーメン隅角部の応力解析について | (土木学会北海道支部 論文報告集 昭和61年度 - 勝俣、大谷、東) |