

(3) 逆L型式橋脚

1) 概要

T型や逆L型の橋脚の隅角部には、門型ラーメン橋脚の場合と異なり、はり部材に軸力がほとんど作用しない。また、はり高さが隅角部を最大にはり先端で最小となるような変断面となっているものが多い。ここでは、図-3.3.34 に示す変断面のはりをもつ逆L型式橋脚を対象に検討を行った。検討では隅角部の材質をSM490Yとし、断面に発生する応力がおよそ100~200N/mm²となるように載荷重を調整した結果、図中に示すようにはり先端付近に集中荷重で1000kNを載荷した。部材の断面諸元を表-3.3.15 に示す。

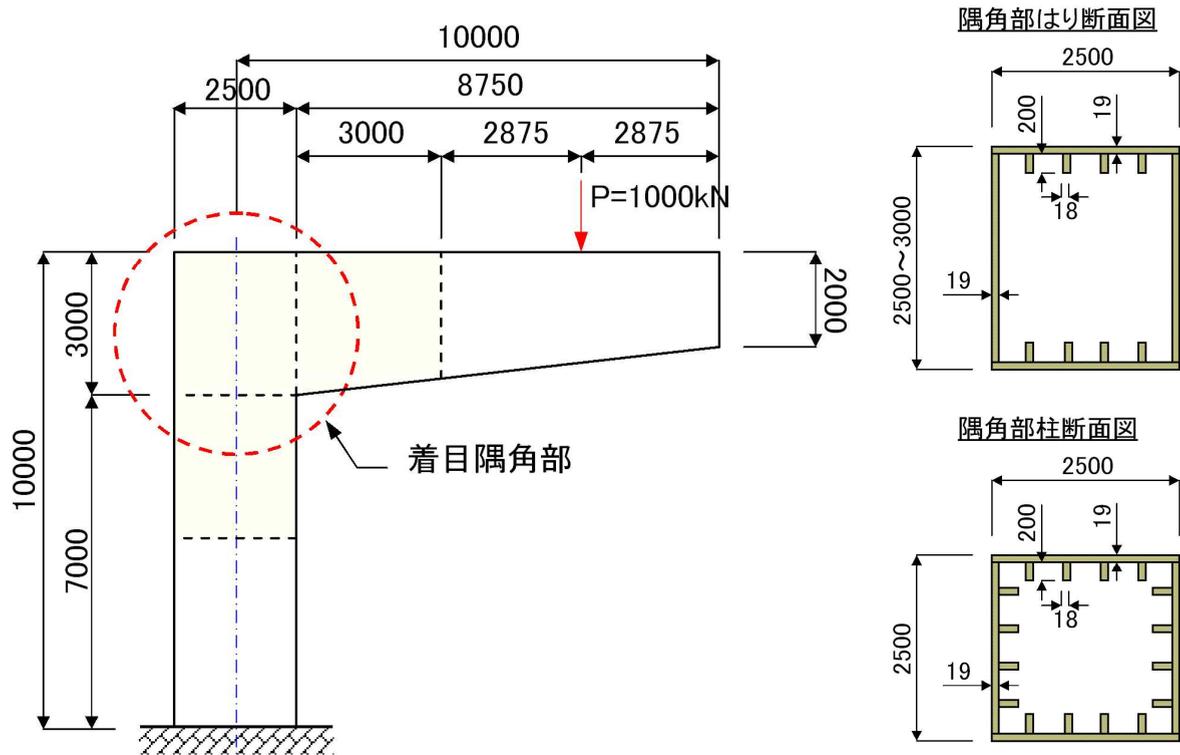


図-3.3.34 検討対象橋脚

表-3.3.15 部材断面諸値一覧

部材	断面形状	フランジ		ウェブ		リブ		面積 A m ²	断面2次 モーメント I m ⁴
		幅 mm	厚 mm	幅 mm	厚 mm	幅 mm	厚 mm		
はり	隅角部	2500	19	3000	19	200	18	2.38E-01	3.59E-01
	一般部(先端)	2500	19	2000	19	200	18	2.00E-01	1.46E-01
柱	隅角部	2500	19	2500	19	200	18	2.48E-01	2.38E-01
	一般部	2500	19	2500	19	200	18	2.48E-01	2.38E-01

2) 解析モデル

以下に、各々の解析に用いた解析モデルの概要を示す。

① 奥村・石沢の方法

図-3.3.35 に対象橋脚の奥村・石沢の方法に用いた解析モデル図を示す。モデル化の詳細の基本的な考え方は、3.3 節にて行った矩形柱門型ラーメン橋脚と同様であり、橋脚部材を全てはり要素によりモデル化した。また、モデルは平面モデルとした。

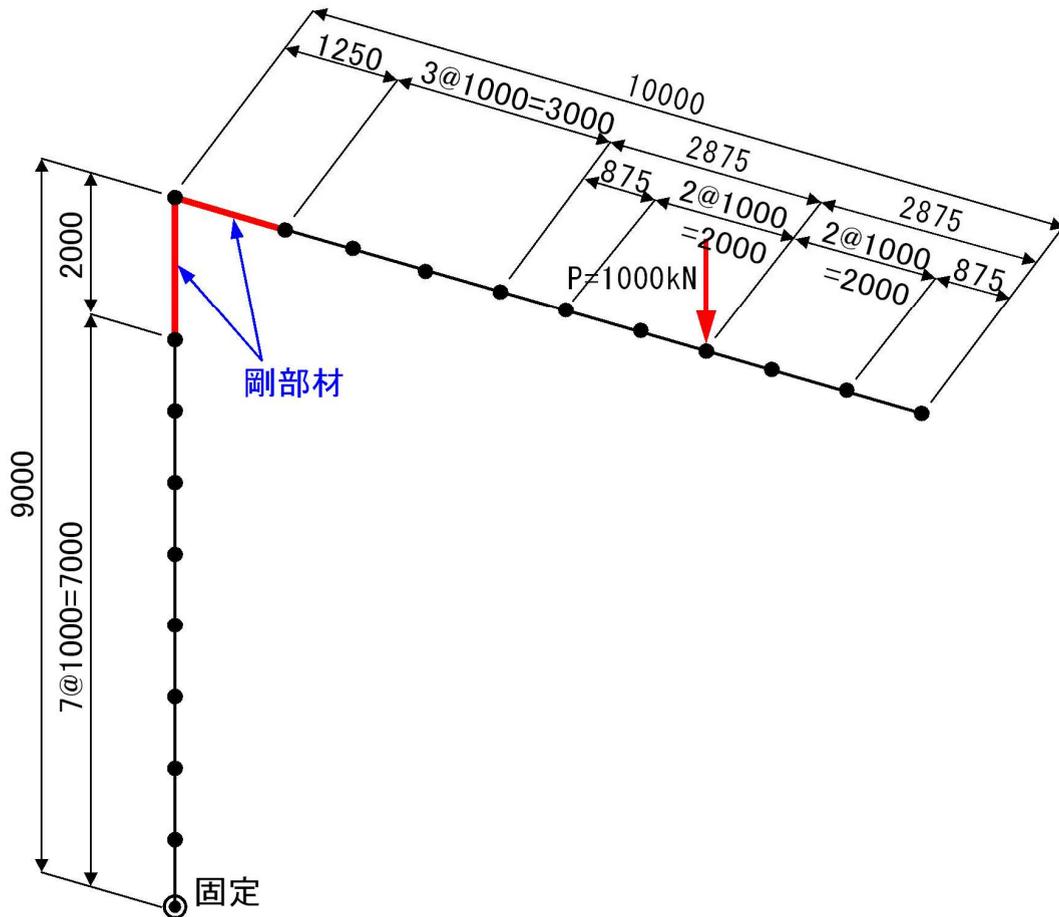


図-3.3.35 奥村・石沢の方法のモデル図

② 一定せん断流パネル解析

図-3.3.36 に対象橋脚の一定せん断流パネル解析モデル図を示す。モデル化の詳細の基本的な考え方は、3.3 節にて行った矩形柱門型ラーメン橋脚と同様である。また、一定せん断流パネル要素サイズは、隅角部付近で最小 50mm 間隔とし、最大要素サイズは縦リブ間隔 (500mm) 以下とした。また、一般部のはりおよび柱ははり要素によりモデル化し、一定せん断流パネル要素モデルとは仮想剛部材にて接合する。

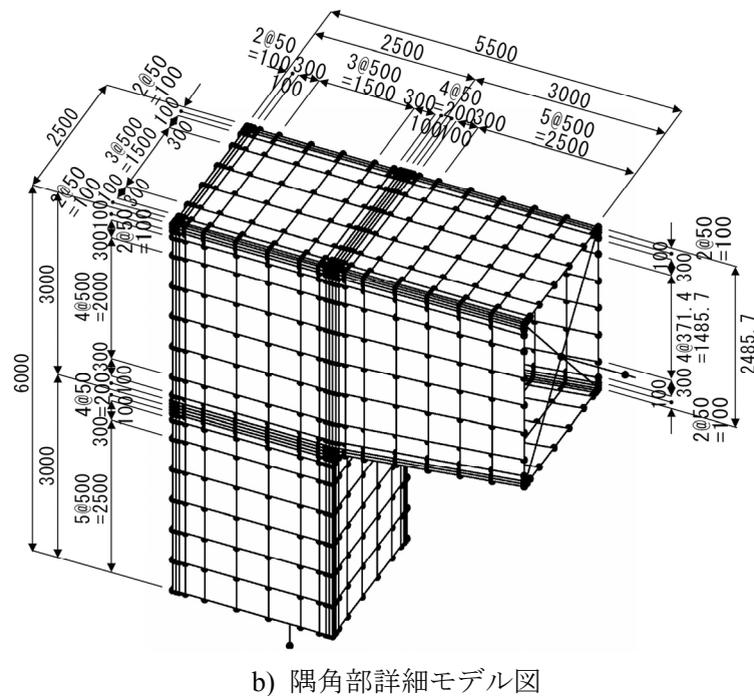
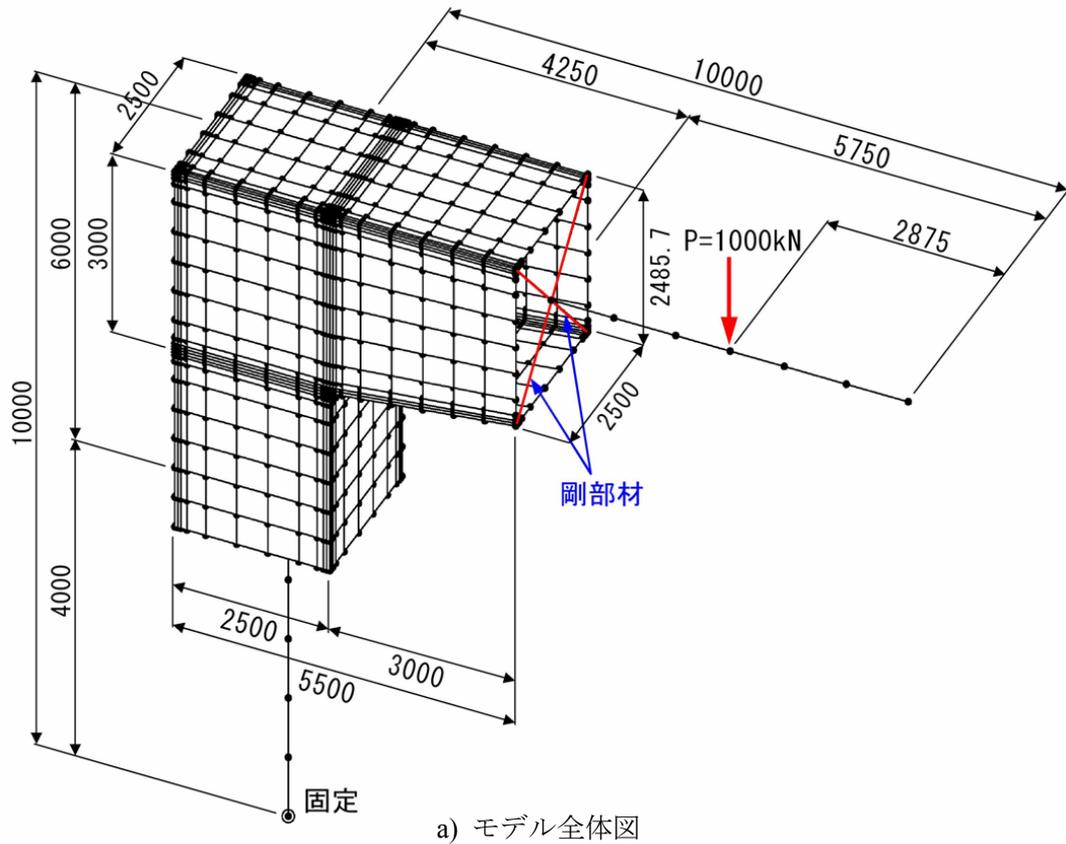
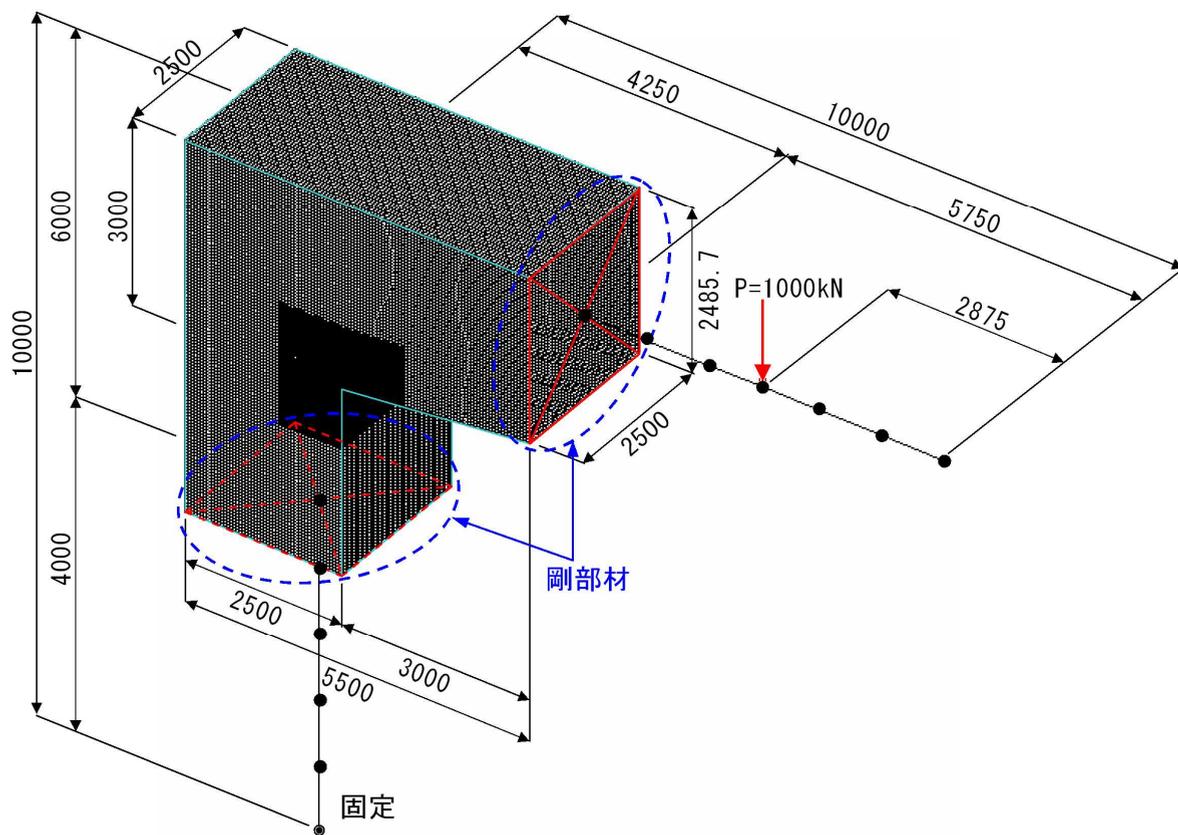


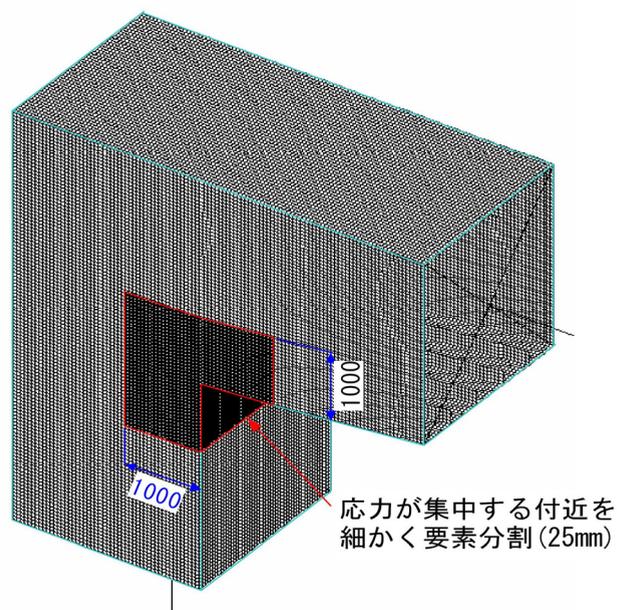
図-3.3.36 一定せん断流パネル解析モデル図

③ FEM 解析

図-3.3.37 に対象橋脚の FEM 解析モデル図を示す。モデル化の詳細の基本的な考え方は、3.3 節にて行った矩形柱門型ラーメン橋脚と同様である。着目した隅角部をシェル要素によりモデル化し、応力集中が予測される箇所は密な要素分割（最小要素サイズ：25mm）とした。また、一般部のはりおよび柱はり要素によりモデル化し、シェル要素モデルとは仮想剛部材にて接合する。



a) モデル全体図



b) 隅角部詳細モデル図

図-3.3.37 FEM 解析モデル図

3) 解析結果

逆L型式橋脚における各々の解析による解析結果を、検証方向とした図-3.3.2 に示す3つ（はり，柱，面外）の方向・位置で応力比較を行った。以下に、その応力方向別に結果を示す。また、参考として図-3.3.45～図-3.3.48 に FEM 解析で得られた変形図および応力図を示す。

① はり方向

図-3.3.38，表-3.3.16 に各解析手法によるはり下フランジの応力算出結果を示す。各解析結果とも隅角部コーナー部付近でせん断遅れ現象などによる応力集中がみられる。さらに、一定せん断流パネル解析および FEM 解析では、フランジ内・外面の垂直応力から大きな板曲げ応力が発生しているのがわかる。隅角部コーナー部の発生応力は、奥村・石沢の方法では他の2手法との乖離が大きく、かなり小さな値を示す。一方、一定せん断流パネル解析においては、FEM 解析と比較して全体的に 5%程度の差に収まっており、フランジ全体の応力性状も十分に整合性がとれている。

表-3.3.16 はり下フランジ応力比較

中立軸からの離れ mm	一定せん断流パネル解析		軸応力	FEM解析		軸応力	軸応力比
	垂直応力度			垂直応力度			
	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²	軸応力 N/mm ²		
-1250	-34.81	-124.79	-79.80	-68.65	-85.94	-77.30	1.03
-1200	-58.37	-59.01	-58.69	-69.09	-50.31	-59.70	0.98
-1150	-59.37	-29.83	-44.60	-60.42	-29.64	-45.03	0.99
-1050	-41.39	-24.42	-32.90	-44.33	-23.38	-33.86	0.97
-750	-25.13	-18.59	-21.86	-18.81	-27.87	-23.34	0.94
-250	-18.84	-14.95	-16.90	-12.55	-20.82	-16.69	1.01
250	-18.84	-14.95	-16.90	-12.54	-20.82	-16.68	1.01
750	-25.13	-18.59	-21.86	-18.81	-27.87	-23.34	0.94
1050	-41.39	-24.42	-32.90	-44.33	-23.38	-33.86	0.97
1150	-59.37	-29.83	-44.60	-60.41	-29.65	-45.03	0.99
1200	-58.37	-59.01	-58.69	-69.08	-50.32	-59.70	0.98
1250	-34.81	-124.79	-79.80	-68.73	-86.02	-77.38	1.03

軸応力 = ([内側垂直応力度]+[外側垂直応力度])/2

軸応力比 = [一定せん断流パネル解析軸応力]/[FEM解析軸応力]

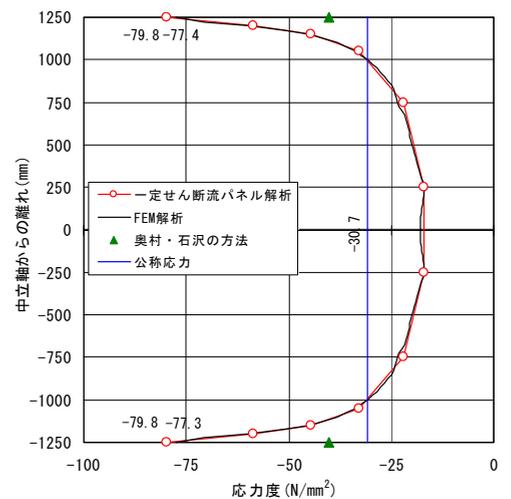


図-3.3.38 はり下フランジ軸応力分布比較

表-3.3.17 はり下フランジ最大応力比較

解析手法	公称応力 σ_r N/mm ²	軸応力度	
		最大応力 σ_{max} N/mm ²	応力比 σ_{max}/σ_r
奥村・石沢の方法	-30.68	-40.12	1.31
一定せん断流パネル解析		-79.80	2.60
FEM解析		-77.30	2.52

※公称応力～はり理論や骨組解析などによって求められる断面力に基づく応力（参考文献1より）

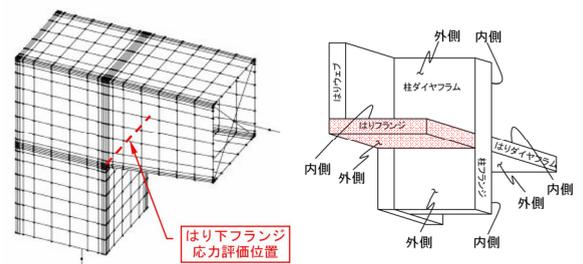


図-3.3.39 応力評価位置

② 柱方向

図-3.3.40, 表-3.3.18 に各解析手法による柱フランジの応力算出結果を示す。各解析ともはり下フランジと同様な応力性状を示し、隅角部コーナー部付近でせん断遅れ現象や板曲げ応力による応力集中がみられる。隅角部コーナー部の発生応力も、はり下フランジと同様に奥村・石沢の方法では他の2手法との乖離が大きく、かなり小さな値を示す。一方、一定せん断流パネル解析においては、FEM解析と比較して全体的に5%程度の差に収まっており、フランジ全体の応力性状も十分に整合性がとれている。

表-3.3.18 柱フランジ応力比較

中立軸からの離れ mm	一定せん断流パネル解析		軸応力	FEM解析		軸応力	軸応力比
	垂直応力度			垂直応力度			
	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²		内側 N/mm ²	外側 N/mm ²		
-1250	-62.32	-147.79	-105.06	-94.76	-110.40	-102.58	1.02
-1200	-80.20	-76.47	-78.34	-91.88	-70.93	-81.41	0.96
-1150	-76.03	-46.85	-61.44	-79.76	-47.86	-63.81	0.96
-1050	-55.73	-40.06	-47.89	-60.55	-39.27	-49.91	0.96
-750	-38.42	-32.73	-35.57	-34.33	-41.19	-37.76	0.94
-250	-31.89	-28.61	-30.25	-26.00	-32.92	-29.46	1.03
250	-31.89	-28.61	-30.25	-26.00	-32.92	-29.46	1.03
750	-38.42	-32.73	-35.57	-34.33	-41.19	-37.76	0.94
1050	-55.73	-40.06	-47.89	-60.54	-39.28	-49.91	0.96
1150	-76.03	-46.85	-61.44	-79.76	-47.87	-63.82	0.96
1200	-80.20	-76.47	-78.34	-91.88	-70.93	-81.41	0.96
1250	-62.32	-147.79	-105.06	-94.76	-110.40	-102.58	1.02

$$\text{軸応力} = ([\text{内側垂直応力度}] + [\text{外側垂直応力度}]) / 2$$

$$\text{軸応力比} = [\text{一定せん断流パネル解析軸応力}] / [\text{FEM解析軸応力}]$$

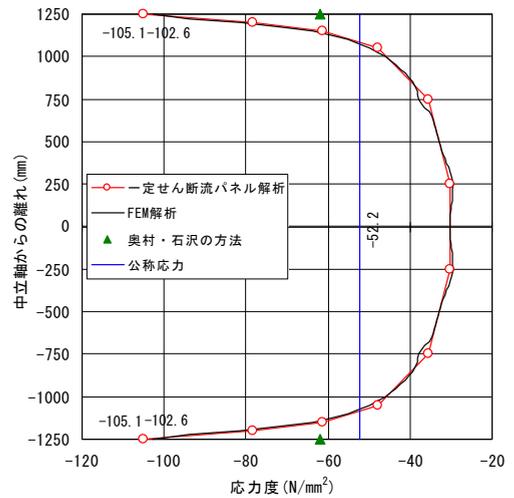


図-3.3.40 柱フランジ軸応力分布比較

表-3.3.19 柱フランジ最大応力比較

解析手法	公称応力 σ_r N/mm ²	軸応力度	
		最大応力 σ_{max} N/mm ²	応力比 σ_{max} / σ_r
奥村・石沢の方法	-52.15	-61.83	1.19
一定せん断流パネル解析		-105.06	2.01
FEM解析		-102.58	1.97

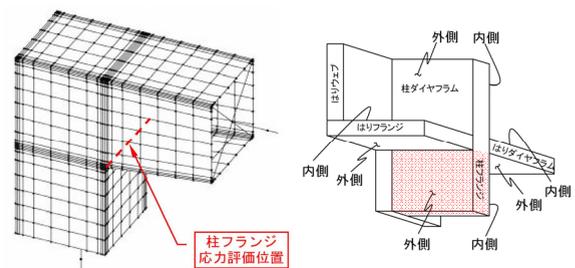
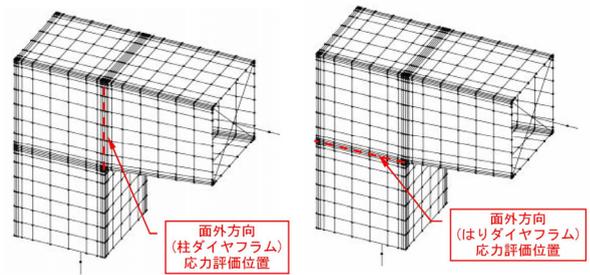


図-3.3.41 応力評価位置

③ 面外方向

面外方向は、図-3.3.42 に示すように柱ダイヤフラムおよびはりダイヤフラム位置で応力結果を示す。なお、奥村・石沢の方法では面外方向の解析が行えないことから、一定せん断流パネル解析と FEM 解析において比較を行った。



a) 柱ダイヤフラム b) はりダイヤフラム

図-3.3.42 面外方向応力評価位置

(a) 柱ダイヤフラム

図-3.3.43, 表-3.3.20 に柱ダイヤフラムの応力算出結果を示す。ダイヤフラム全体の応力性状で捉えると十分整合がとれており、発生応力自体もはり下フランジなどに比べてかなり小さく、応力値の違いはさほど重要でないと思われる。また、ダイヤフラム端部では他の橋脚形式の検討と同様の理由により、FEM 解析との応力の差が若干生じている。

表-3.3.20 柱ダイヤフラム応力比較

隅角部から距離 mm	一定せん断流パネル解析		軸応力	FEM解析		軸応力	軸応力比
	垂直応力度			垂直応力度			
	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²			
3000	4.70	1.93	3.31	-6.97	-6.88	-6.92	-0.48
2950	-2.71	-3.05	-2.88	-4.08	-2.37	-3.22	0.89
2900	-1.46	0.13	-0.67	-2.39	0.61	-0.89	0.75
2800	-0.62	0.66	0.02	-1.75	1.88	0.06	0.30
2500	-0.20	0.41	0.10	-1.74	2.06	0.16	0.65
2000	0.01	0.18	0.09	-1.28	1.51	0.12	0.81
1500	0.23	-0.03	0.10	-0.20	0.48	0.14	0.72
1000	0.61	-0.33	0.14	1.18	-1.01	0.09	1.63
500	1.55	-0.99	0.28	2.76	-2.11	0.32	0.87
200	3.65	-2.89	0.38	4.63	-3.41	0.61	0.62
100	3.33	-4.59	-0.63	3.86	-3.50	0.18	-3.50
50	-5.08	-0.65	-2.86	-2.33	-2.19	-2.26	1.27
0	-15.87	0.21	-7.83	-17.33	-3.24	-10.29	0.76

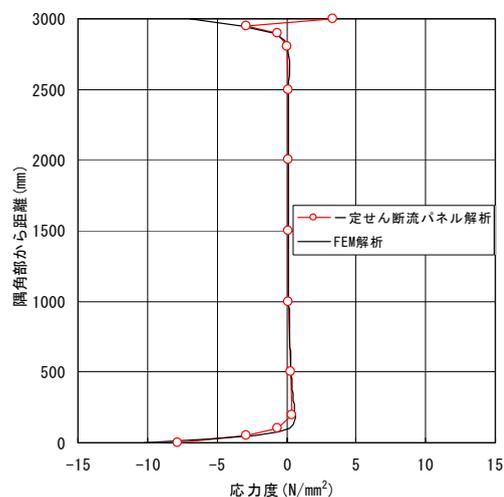


図-3.3.43 柱ダイヤフラム軸応力分布比較

軸応力 = ([内側垂直応力度]+[外側垂直応力度])/2

軸応力比 = [一定せん断流パネル解析軸応力度]/[FEM解析軸応力度]

(b) はりダイヤフラム

図-3.3.44, 表-3.3.21 にはりダイヤフラムの応力算出結果を示す。はりダイヤフラム全体の応力性状で捉えると十分整合がとれており、発生応力自体もはり下フランジなどに比べてかなり小さく、応力値の違いはさほど重要でないと思われる。また、他の橋脚形式の検討と同様に、ダイヤフラム端部やダイヤフラム中央の数カ所に FEM 解析と乖離がみられる。

表-3.3.21 はりダイヤフラム応力比較

隅角部から距離 mm	一定せん断流パネル解析		軸応力	FEM解析		軸応力	軸応力比
	垂直応力度			垂直応力度			
	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²	内側 N/mm ²	外側 N/mm ²			
2500	-1.27	7.11	2.92	-8.26	-8.28	-8.27	-0.35
2450	-7.40	0.00	-3.70	-5.11	-3.08	-4.09	0.90
2400	-3.71	1.39	-1.16	-3.06	0.26	-1.40	0.83
2300	-4.17	3.69	-0.24	-1.78	1.36	-0.21	1.15
2000	-3.95	3.95	0.00	-3.00	-2.94	-2.97	0.00
1500	-4.01	4.15	0.07	-1.71	-1.71	-1.71	-0.04
1000	-4.28	4.61	0.17	-0.71	-1.44	-1.08	-0.15
500	-5.50	6.25	0.37	-0.25	0.61	0.18	2.06
200	-8.44	9.71	0.64	4.49	-2.84	0.83	0.77
100	-9.64	10.51	0.43	4.81	-2.51	1.15	0.38
50	-11.30	11.20	-0.05	0.69	0.26	0.48	-0.10
0	-15.87	0.21	-7.83	-12.69	-0.12	-6.40	1.22

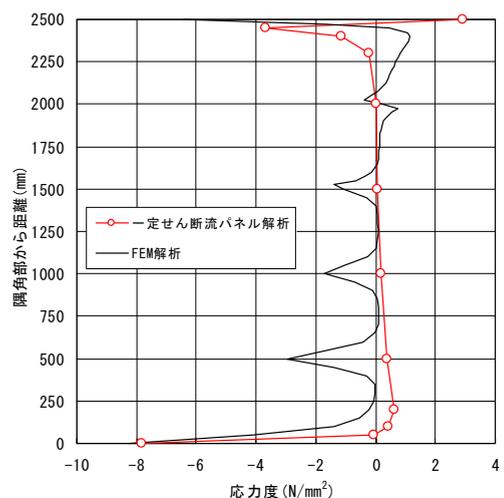


図-3.3.44 はりダイヤフラム軸応力分布比較

軸応力 = ([内側垂直応力度]+[外側垂直応力度])/2

軸応力比 = [一定せん断流パネル解析軸応力度]/[FEM解析軸応力度]

以下に、FEM 解析による変形図および各部材方向における応力分布図を示す。

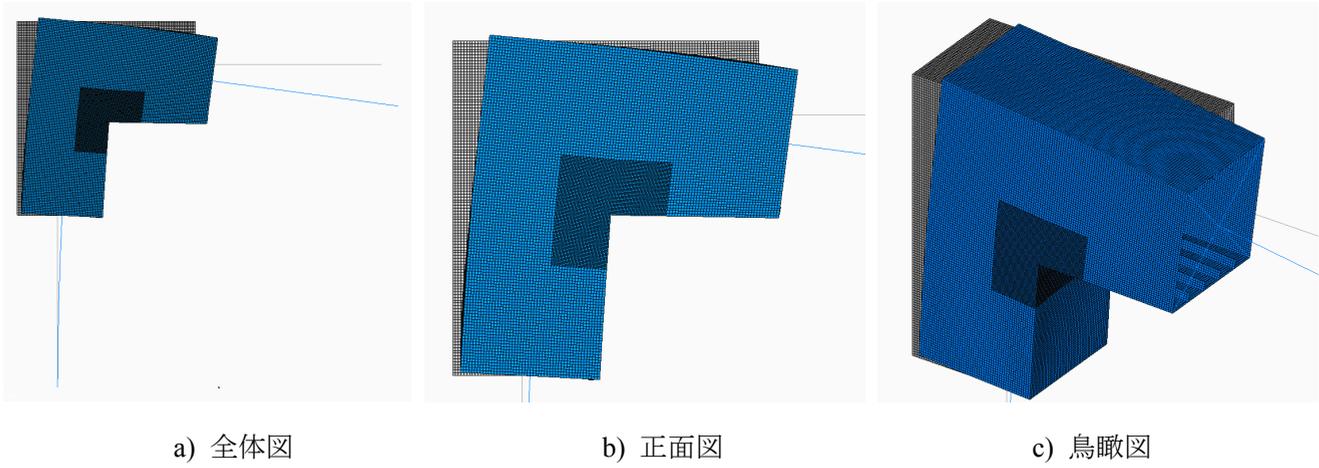


図-3.3.45 変形図

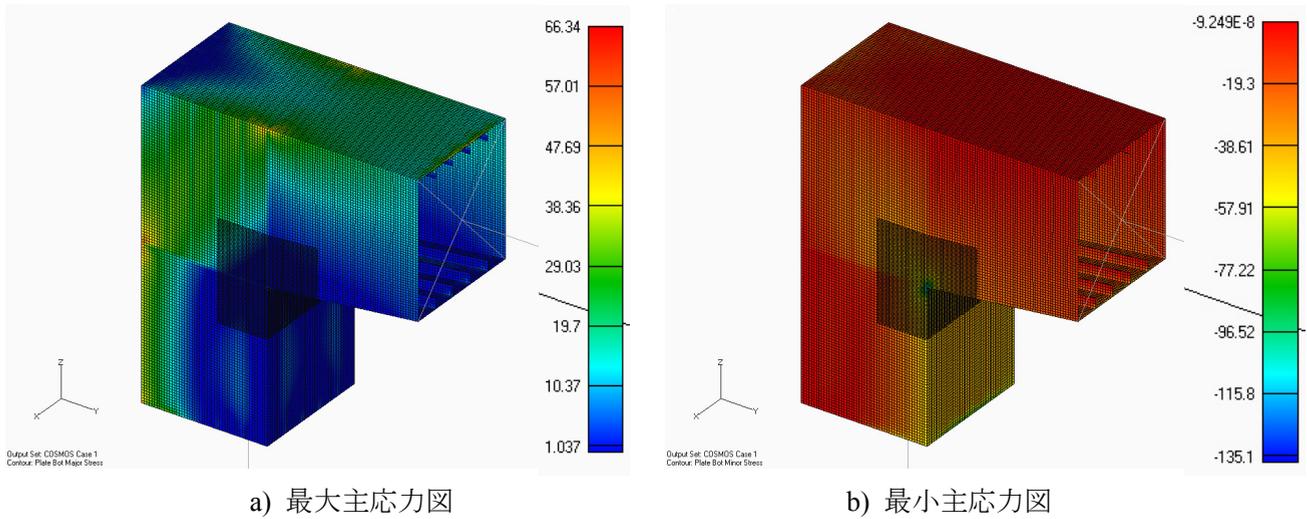


図-3.3.46 主応力図

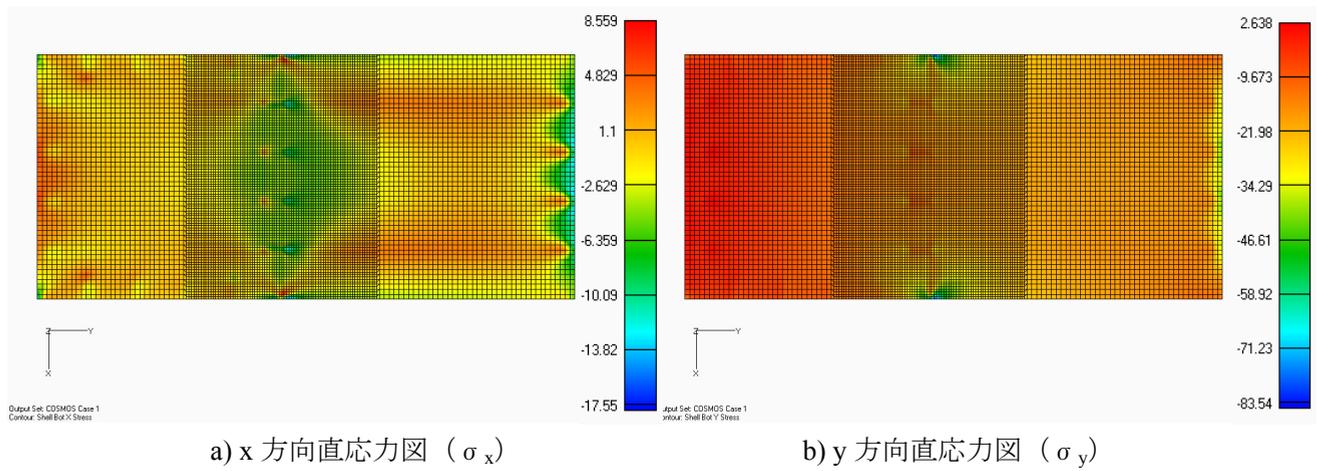
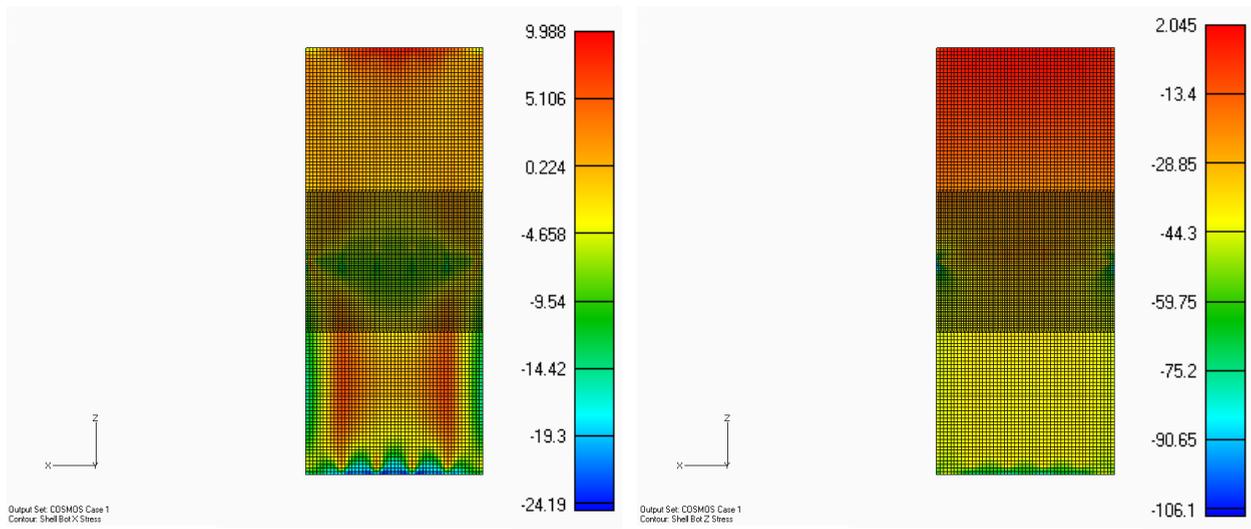


図-3.3.47 はり下フランジ直応力図



a) x 方向直応力図 (σ_x)

b) z 方向直応力図 (σ_z)

図-3.3.48 柱フランジ直応力図