

剛結部 FEM解析

平成 年 月 日

川田テクノシステム(株)

目 次

1 . 剛結部 FEM 解析方針	
1 . 1 解析目的	1
1 . 2 解析モデル	1
1 . 3 荷重ケース	2
1 . 4 モデル化の留意点	2
1 . 5 解析モデルのサイズ	4
1 . 6 境界条件について	6
1 . 7 バネ要素の設定	7
2 . 主桁応力の検討	
2 . 1 FEM 解析モデル	8
2 . 2 常時 WEB 応力図	10
2 . 3 常時 FLG 応力図	12
2 . 4 常時 WEB 応力分布	15
2 . 5 常時 WEB せん断応力度分布の変化	22
2 . 6 地震時 WEB 応力図	24
2 . 7 地震時 FLG 応力図	26
2 . 8 地震時 WEB 応力分布	29
2 . 9 FEM 解析結果について	36
2 . 10 隅角部の設計について	37
3 . 常時 WEB せん断応力度分布の乱れについて	
3 . 1 問題点	45
3 . 2 モデルの妥当性確認及び、 種種荷重状態でのせん断力応力度乱れのチェック	47
4 . 横梁応力の検討	
4 . 1 設計応力	53
4 . 2 内力の符号について	57
4 . 3 横梁部の FEM 解析結果について	59
4 . 4 横梁鋼板部の検討	60
4 . 5 ケース 4 のせん断力分布	73
4 . 6 横梁の変形図	77
5 . 孔あき鋼板ジベル	
5 . 1 荷重ケース	79
5 . 2 孔あき鋼板ジベルの位置	79
5 . 3 簡易設計法による孔あき鋼板ジベルのせん断力	80

5.4	孔あき鋼板ジベルのせん断力分布についての考察	80
5.5	ケース1のせん断力分布	81
5.6	ケース2のせん断力分布	89
5.7	ケース3のせん断力分布	93
5.8	孔あき鋼板ジベルに作用する水平力	97
6.	コンクリート及び鉄筋の応力について	
6.1	鋼板腹板と接する部分のコンクリート応力	98
6.2	横桁に接する部分のコンクリート応力	99
6.3	主鉄筋の応力	101
7.	スタッドのせん断力	
7.1	腹板スタッドジベルに生じる作用力の集計	103
7.2	結果の考察	103
7.3	G1桁常時	104
7.4	G2桁常時	105
7.5	G1桁地震時	106
7.6	G2桁地震時	107
7.7	主桁フランジ及び腹板のスタッド本数について	108
8.	プレストレスロスについて	
8.1	PC鋼材の配置について	109
8.2	張り出し部先端が反り上がっている理由	110
8.3	床版コンクリート応力について	111
8.4	中間横桁と剛結部横桁位置のプレストレスロスについて	115
9.	動解	
9.1	設計応力	116
9.2	動解地震時の変形図	123
9.3	主桁(G1桁)の応力分布	124
9.4	主桁の応力図	126

1. 剛結部 FEM 解析方針

1.1 解析目的

- 1) 桁、横梁の発生応力の確認
骨組立体解析による断面応力との比較。
- 2) あき鋼板およびスタッド配置の確認
鋼板 孔あき鋼板およびスタッド コンクリート：応力伝達の確認。
- 3) 床版の P C 鋼材への影響
P C 緊張時の横梁拘束によるプレストレス導入力の低減量の確認。

1.2 解析モデル

本解析で行う立体 FEM 解析モデルは、図 1 および図 2 に示す。各構造部材のモデル化に使用した有限要素の種類を表 1 に示す。

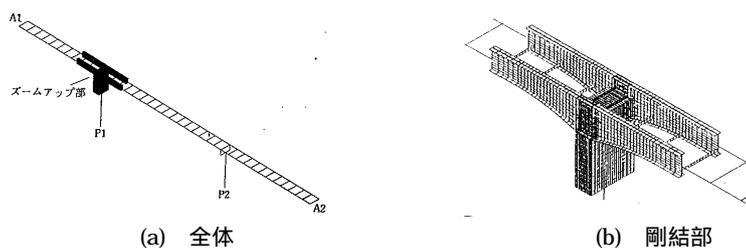


図 1 FEM 解析モデル

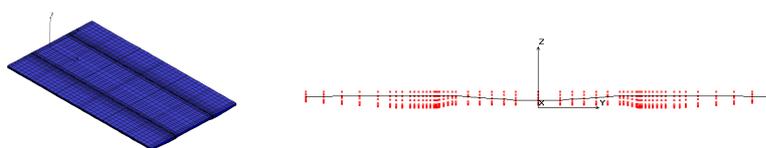
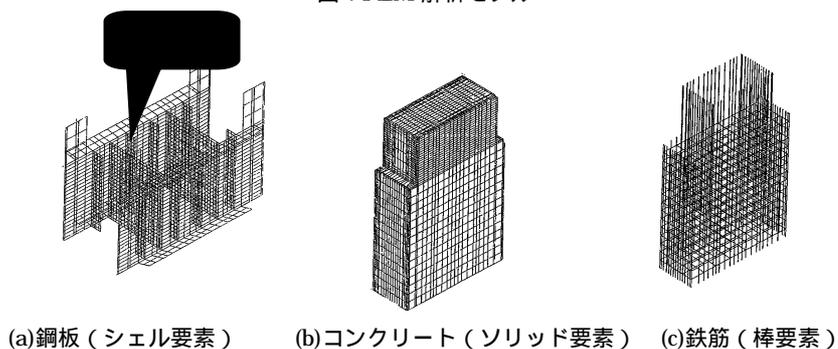


図 2 各構造部材のモデル化

表 1 有限要素の種類

構造	有限要素
鋼板	板（シェル）要素
コンクリート	ソリッド要素
鉄筋	棒（トラス）要素
孔あき鋼板	バネ要素
鋼板 - コンクリート境界	ギャップ要素
スタッド	棒（トラス）要素
P C鋼材	棒（トラス）要素

1.3 荷重ケース

- 1) 荷重ケース 1 : RC 橋脚天端のモーメントが最大となる荷重ケース。
- 2) 重ケース 2 : RC 橋脚天端の軸力が最大となる荷重ケース。
- 3) 重ケース 3 : P C 鋼材導入力のモデル化（棒要素には P C 導入力相当の温度荷重を与える。）

1.4 モデル化の留意点

1) 床版剛性の扱い

荷重ケース 1 とケース 2 については床版剛性は非合成桁として設計するため無視する。荷重ケース 3 に対しては床版剛性を有効とする。

2) 鋼板とコンクリートとの接触面の境界条件

図 3 には鋼板とコンクリートとの接触面の解析モデルを示す。接触面では圧縮力は伝達するが、引張力およびせん断力は伝達しないギャップ要素を用いている。

3) 孔あき鋼板のモデル化

孔あき鋼板とコンクリートとの節点間の 3 方向にバネ要素を設ける。図 4 にモデルを示す。

4) スタッドのモデル化

スタッドとコンクリートとの節点間の 3 方向にバネ要素を設けて力を伝達させている。

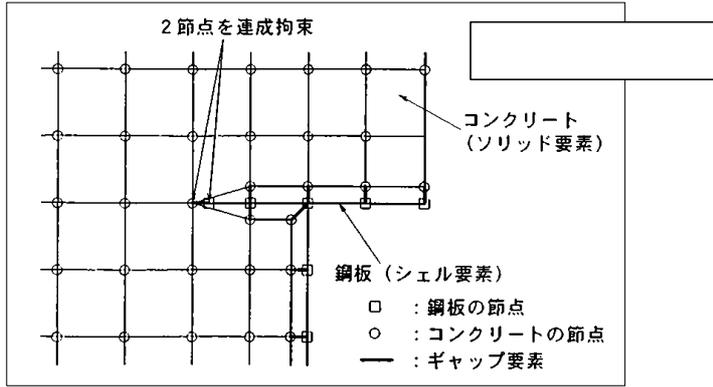


図3 鋼板とコンクリートとの接触面の境界条件

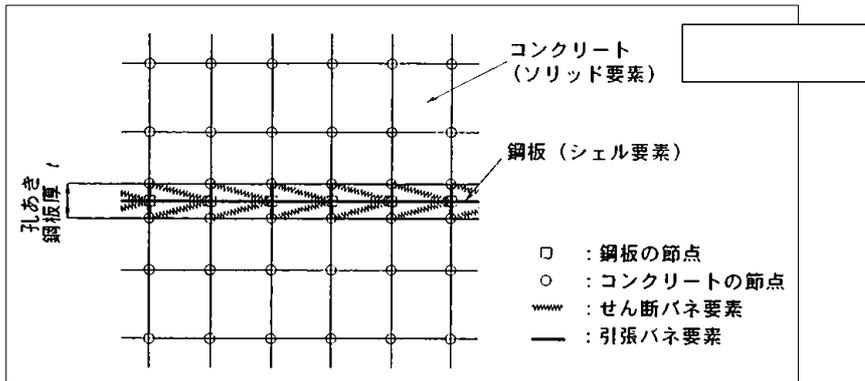


図4 孔あき鋼板のモデル化

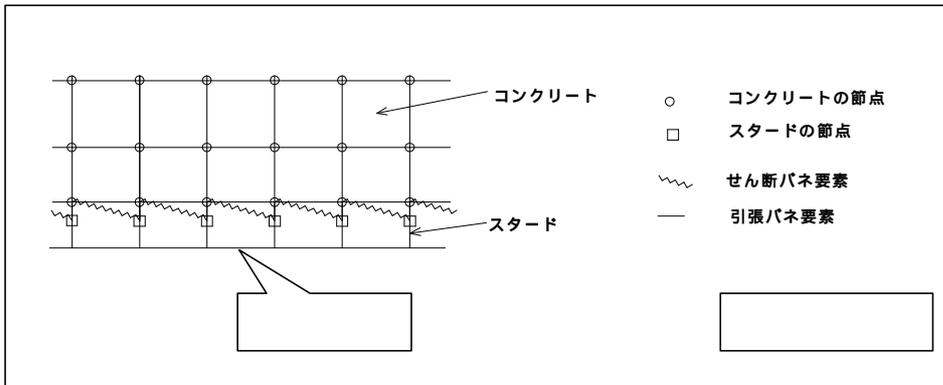


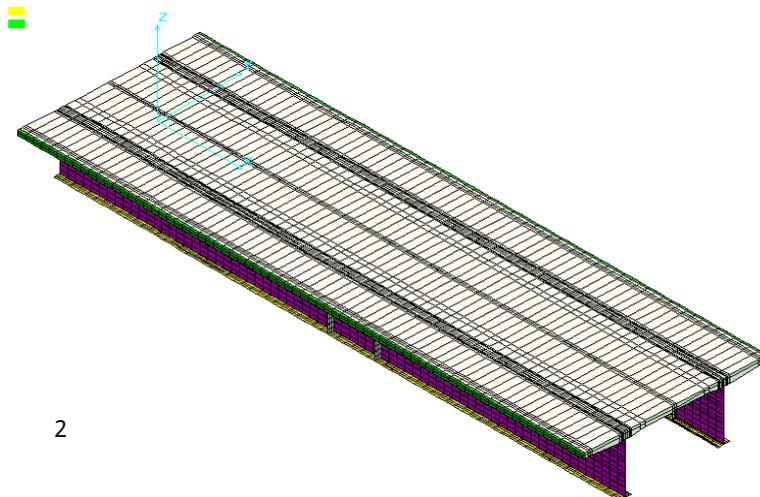
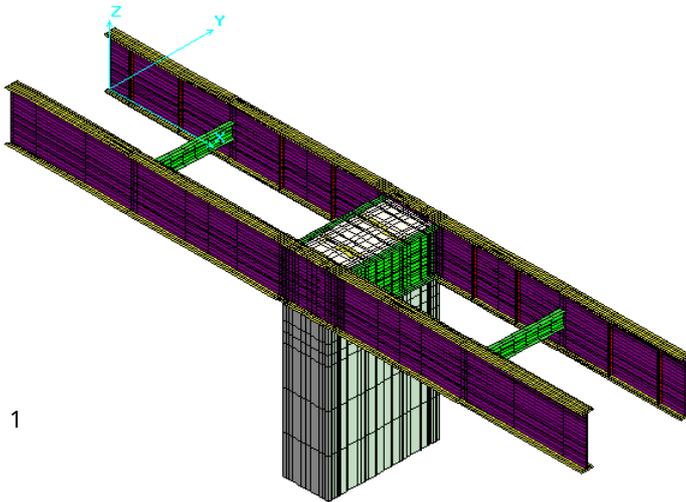
図5 スタッドのモデル化

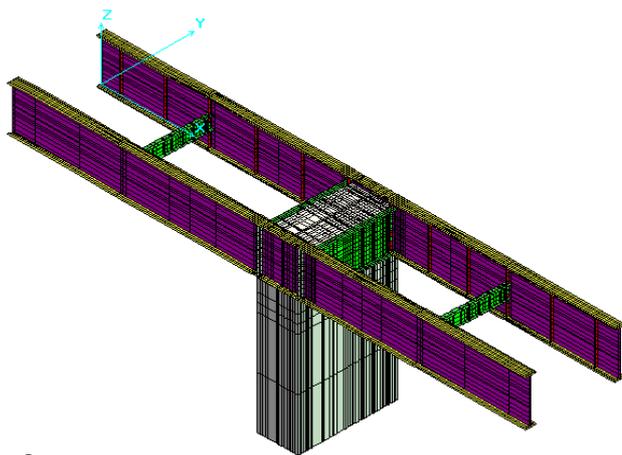
1.5 解析モデルのサイズ

使用プログラム	Structural Research & Analysis Company : Cosmos/M, Ver 1.75, 1995
---------	---

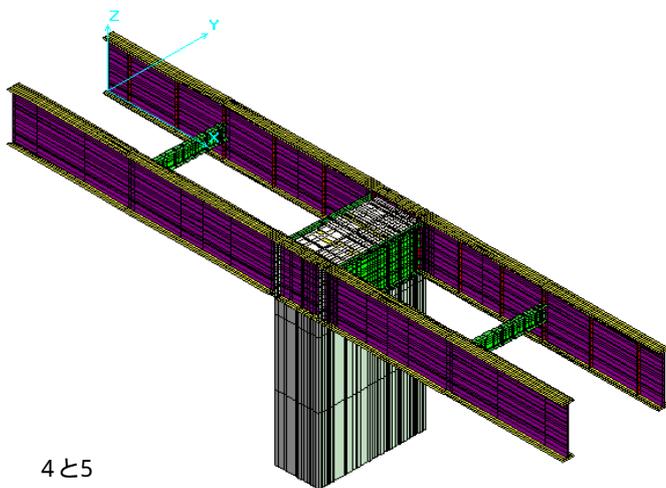
モデルのサイズ

	検討の内容	格点数	要素数	ケース数
1	主桁の検討	22007	26839	2
2	プレストレスロスの検討	19023	19834	1
3	主桁せん断力乱れの検討	30933	34374	5
4	横梁とジベルの検討	31570	37871	4
5	動解の検討	31570	37871	1





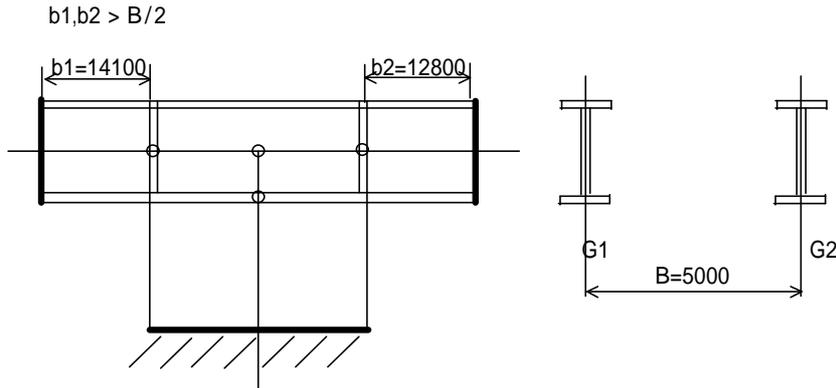
3



4と5

1.6 境界条件について

1) 取り出すサイズ



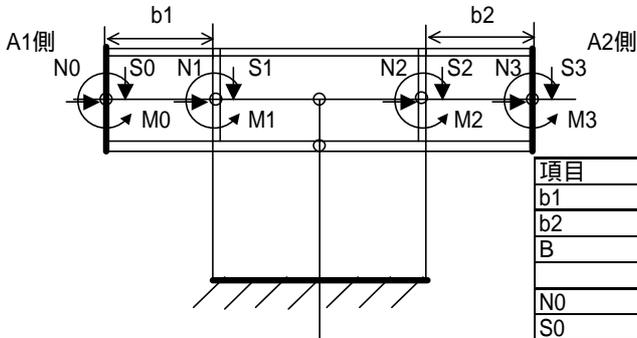
2) 荷重の載荷方法

$$S0=S1 \quad S3=S2$$

$$N0=N1 \quad N3=N2$$

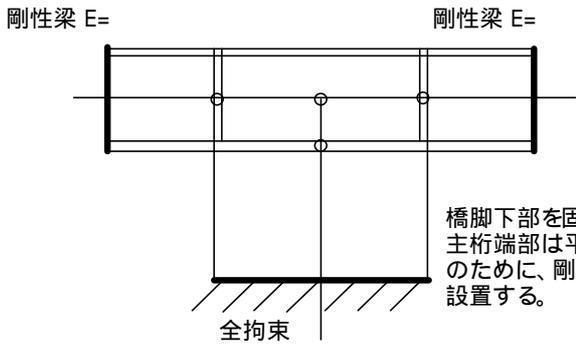
$$M0=M1 - S1 \times b1 \quad M3=M2 + S2 \times b2$$

端部の荷重は隅角部の断面力にあわせて載荷する



項目	単位	入力値	
b1	mm	14100	
b2	mm	12800	
B	mm	5000	
		G1桁	G2桁
N0	KN	-1.91E+02	-1.93E+02
S0	KN	-2.05E+03	-1.31E+03
M0	KN mm	1.04E+07	3.73E+06
N3	KN	-2.76E+01	-1.95E+01
S3	KN	-3.22E+03	-1.51E+03
M3	KN mm	-1.34E+07	-1.19E+07

3) 端部拘束条件



1. バネ要素の設定

1) 実際値の算出

a) 孔あき鋼板

孔あき鋼板のずれ剛性が孔面積と鋼板板厚に比例すると仮定する。
すると、孔あき鋼板平面内のバネ剛性は、以下のとおりである。

$$2K_{x,y} = A \cdot t^2$$

ここで、

$K_{x,y}$ 片側バネ剛性
A 試験より決める定数
t 孔径
板厚

$$A = 95/70^2 = 0.019388 \text{ (KN)}$$

	t	2K _{x,y} (KN/mm ²)	K _{x,y} (KN/mm ²)
70	22	2090	1045

孔あき鋼板面に垂直方向のバネ剛性は、孔を介して連続しているため剛結とする。

$$K_z = 1.00E+12 \text{ (KN/mm}^2\text{)}$$

b) スタッド

試験よりスタッドのずれ剛性軸径に大きく依存していることがある。
直径 22mm の場合

$$K_{x,y} = 230 \text{ (KN/mm}^2\text{)}$$

スタッド方向のバネ剛性はスタッドの軸方向引張り剛性より算出する

$$K_z = E A_s / L_s$$

ここで、

E スタッド弾性係数
A_s スタッド断面積
L_s スタッドの首下長さ

E (KN/mm ²)	A _s	L _s	K _z (KN/mm ²)
200	380	138	551

c) FEMモデルに使用値の算出

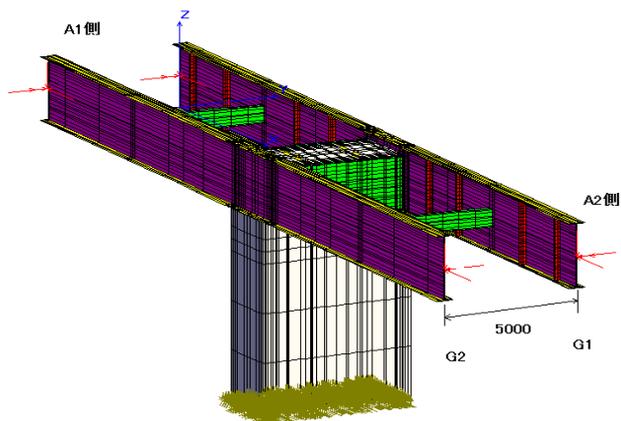
要素分割の都合上、実際に配置されている位置と解析で配置した位置は異なっている。
バネ剛度を変化させることにより対応する。

位置	バネ方向 (全体座標)	バネ剛度 実際値 (KN/mm ²)	スタッド 実配置数	FEM 使用数	スタッド 数比率	バネ剛度 FEM 使用値 (KN/mm ²)	RC番号
孔あき	X	1045	84	84	1.000	1045	506
	Y	1.00E+12	84	84	1.000	1.00E+12	503
	Z	1045	84	84	1.000	1045	509
WEB スタッド	X	230	100	221	0.452	104	505
	Y	551	100	221	0.452	249	502
	Z	230	100	221	0.452	104	508
L.FLG スタッド	X	230	40	126	0.317	73	504
	Y	230	40	126	0.317	73	507
	Z	551	20	72	0.278	153	501

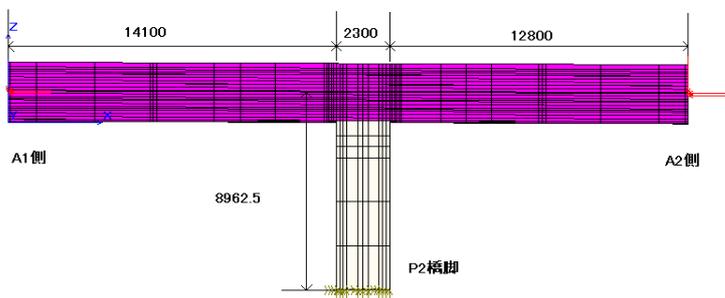
2. 主桁応力の検討

2.1 FEM解析モデル

1)モデル図



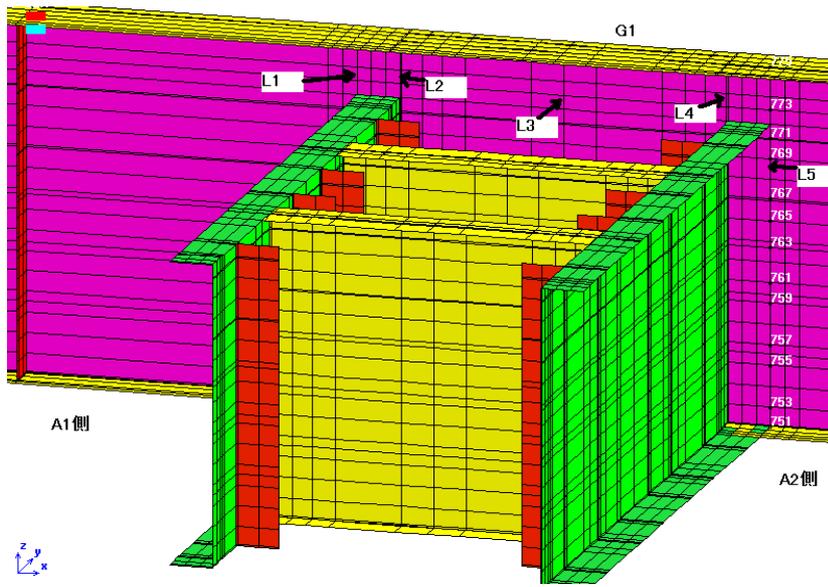
2)モデル取り出すサイズ



3)節点数 要素数

節点数	要素数	
	22007	ソリッド
シェル		8716
棒		1086
バネ		6187
合計		26861

4 着目点



- L1=断面 1
- L2=断面 2
- L3=断面 3
- L4=断面 4
- L5=断面 5