

(73) 外ケーブル定着体の有限要素法解析による設計法考察

オリエンタル建設(株) ○ 鄭 慶玉  
 オリエンタル建設(株)正会員 関口 富夫  
 オリエンタル建設(株)正会員 北川 琢也

1. はじめに

近年、土木構造物の維持・補修に対する意識が高まり、既存の桁の補修・補強を行うという観点から外ケーブルを既存の桁に配置し、プレストレスを与えるという外ケーブル工法が開発され、施工実績も着実に増加しつつある。既存コンクリート橋に外ケーブル工法を採用する場合、桁の端部のウェブ両側に定着体(ブラケット)を設けてPCケーブルを配置するのが一般的である。また、プレストレスによって大きな負の曲げを与えたい場合は、両ブラケット間に偏向部材(サドル)を一つあるいは複数設けて、PCケーブルを偏心させる方法が採られている。前回、端部の定着体に注目し、耐力試験を行った。耐力試験を行った目的は、定着体を既存橋への取り付けの場合、外ケーブルによって定着体と既設桁のウェブ間に発生する付着せん断力を、“定着体への桁軸直角方向のプレストレス導入に伴う摩擦力”で持たせる設計法が妥当か否かを検証するためである。この実験結果より、設計法に対して、安全側であるとの妥当性が確認できた。今回、さらにこの実験供試体に対して有限要素法解析を適用し、簡易設計法についての考察を加えることにした。

2. 既往実験概要

実験設備については、(図-1)に示すようにコンクリートT桁を既設桁として制作し、外ケーブル定着体を後打ちコンクリートで打設した。定着体は断面諸寸法の異なるプレテンション桁用・ポストテンション桁用、さらには中桁用・外桁用と合計4種類を想定している。各定着体には、緊張スペースがない場合でも確実にプレストレスを導入するため、中空PC鋼棒により試験体直角方向にプレストレス導入を行い、既設桁と定着体の一体化を図った。その後、外ケーブルに漸増荷重を導入し耐力の確認を行った。使用材料については表-1、表-2に示す。

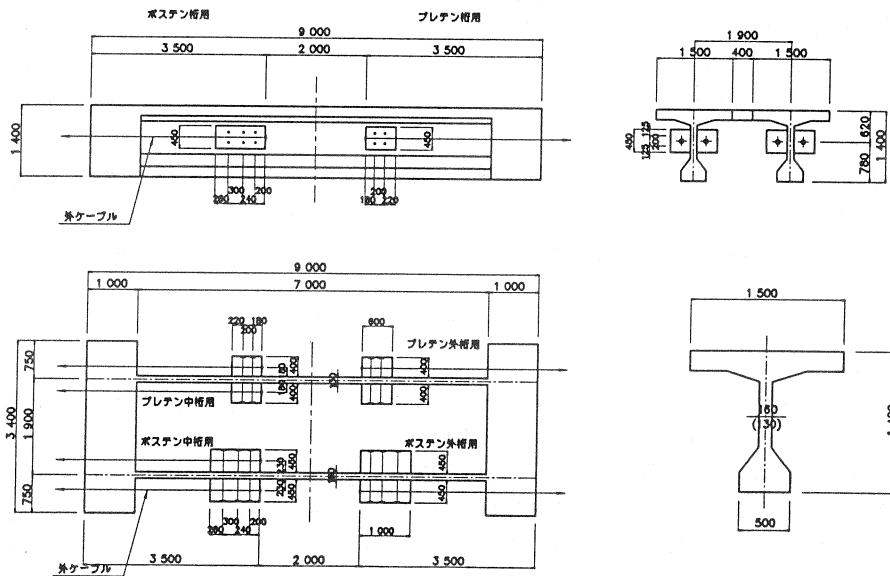


図-1 実験概要図

表-1. 使用材料

・コンクリート		単位 (kgf/cm <sup>2</sup> )			・中空PC鋼棒		
	ポステン桁	プレテン桁	定着体		呼び名		30T
種 類	早強コンクリート	早強コンクリート	早強コンクリート		形 状	mm	2.0×5.0
設計基準強度 $\sigma_{ck}$	400	500	500		外形×厚み	kgf	30,000
圧縮強度	$\sigma_7$	486	547	599	内 径	mm	22.0
	$\sigma_{28}$	569	611	660	断面積	mm <sup>2</sup>	424.1
弾性係数	プレ導入時	---	---	---			
	実験時	$3.69 \times 10E+5$	$3.89 \times 10E+5$	$3.97 \times 10E+5$			

3. 前回実験結果

定着体の耐力及び滑動の確認は、実橋での外ケーブルの設計張力を踏まえて定着体に配置したひずみゲージおよび変位計を用いて行った。主な測定項目は、定着体の滑動をチェックするため定着体と主桁ウェブの相対変位、桁直角方向プレストレスの導入をチェックするため定着体の表面と定着体内のひずみ、外ケーブルを緊張した場合の主桁ウェブへの影響を照査するための定着

表-2. 外ケーブル導入緊張力

桁形式	外ケーブル配置	設計荷重 (tf)	載荷サイクル (tf)
ポステン	両側	120	0→120→0→120→0→200
	片側	120	0→120→0→120→0→200
プレテン	両側	60	0→60→0→60→0→180
	片側	60	0→60→0→60→0→196

体近傍のウェブのひずみ等である。試験体の外ケーブルとしてはSEEEケーブルF270Tを用い、導入緊張力は表-2に示す通りに与えた。実験結果からより以下の結論を得た。

- ① プレテン桁において $P=85tf$ の時、定着体とウェブの極端な相対変位(縁切れ)が確認できた。また、外桁用定着体については、ポステンの桁、プレテンの桁とも緊張材のある側の定着体と反対側の定着体の変位はウェブ面外方向の曲げモーメントにより異符号の値を示した。
- ② 定着体表面のひずみの測定結果から、外ケーブルの緊張力増加とともに定着体の中立軸の変遷が確認できた。また、外桁の場合、定着体周辺のウェブのひずみに外ケーブルの配置されているいる側とされていない側で大きな差が見られた。
- ③ 定着体周辺のウェブに着目すると、ポステンの桁およびプレテンの桁とも、設計緊張力までは何ら異常は見られなかった。外桁のウェブについては外ケーブルの配置されているいる側とされていない側のひずみに差があらわれた。終局時では剛性の弱い桁面外方向の曲げモーメントが卓越するため、悪影響を及ぼしかねないと考えられる。

4. 解析方法

解析は汎用の有限要素法解析プログラムを用いて行った。解析種類は、設計荷重レベルの線形弾性解析である。その理由として、一般実務設計のレベルでは線形弾性解析にとどまることと、本構造は定着体と主桁ウェブ間のせん断伝達耐力の概念で設計されているため、定着体と主桁ウェブの縁切り後のモデル化が複雑であることから非線形解析のモデル化が困難であるためである。解析は定着体周辺のウェブの応力性状および外桁用と中桁用の応力性状の差異を確認するため3次元解析とし、定着体とウェブは設計荷重レベルの解析であることから、完全付着しているものとして解析を行った。解析はプレテン桁とポステン桁の差が、定着体の大きさで導入緊

張力であることから定着体寸法の小さいプレテン桁に注目して行うことにした。解析モデルのメッシュ図を(図-2)に示す。

本解析は、8節点6面体3次元ソリッド要素による3次元解析を行う。境界条件を(図-3)に示す。図からも解るように緊張方向の端部の節点全体を完全固定とする。主げた上フランジ部側面に該当する部分の全節点に対しては、桁軸直角方向の変位を拘束し、桁軸方向および鉛直方向の変位は自由とした。次に荷重条件であるが、外ケーブルによるプレストレスは定着部のアンカープレートを通して導入される。また、桁軸直角方向には中空PC鋼棒のアンカーナットを通してプレストレスが導入される。よって、本解析においてもアンカープレート、アンカーナットの位置にそれぞれの荷重を載荷させる。載荷荷重は設計荷重をそれぞれの支圧面積で除した分布荷重とする。外桁に関してはブラケットの片側のみ荷重を載荷させ、中桁の場合は桁の両側のブラケットにケーブル力を載荷することにした。

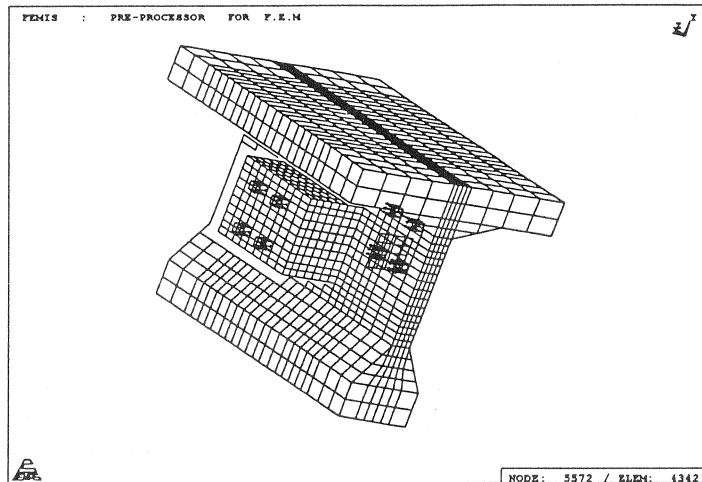


図-2 解析メッシュ図

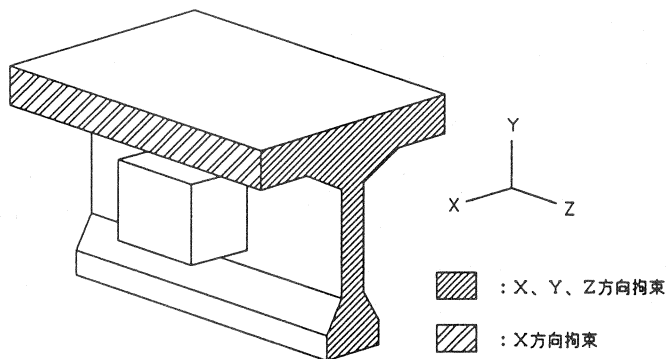


図-3 解析境界条件

### 5. 解析結果

本解析の着目ポイントは、外桁と中桁の違い(片側定着体緊張と両側定着体緊張の応力性状の相違)および線形弾性有限要素法解析の簡易設計レベルでの必要性である。定着体は、外ケーブルおよび中空PC鋼棒を介して導入される2方向から大きな軸力に対して許容支圧応力を十分満足するように制作されるが、定着体ウェブ周辺は新たに外力が加

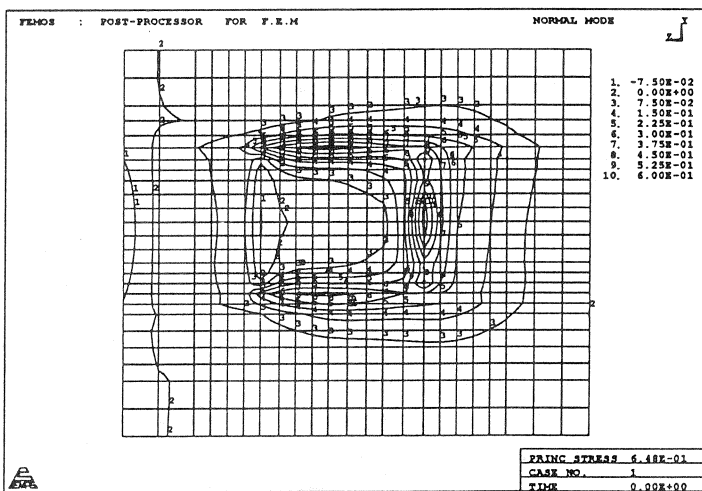
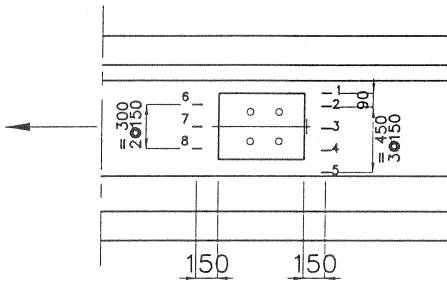


図-4 最大主応力分布図 (両側緊張)

わるため、十分にチェックを行う必要がある。よって、定着体周辺のウェブのひずみ、応力性状に着目して数値解析結果と実験値の比較を行った。

(1) 両側緊張供試体

定着体周辺の最大主応力の分布を(図-4)に示す。定着体の緊張方向前面に圧縮領域が確認でき、緊張方向背面には引張領域が確認できる。これは、定着体の軸方向への水平変位に伴う軸引張力である。また、定着体近傍で応力の等高線は密になるが、拡がるにつれて粗くなる。このことは、定着体の付着せん断力により影響を受ける部分が定着体近傍に集中することを表している。定着体近傍の水平方向ひずみ実験値と解析値の比較表を示す(表-3)。



ひずみゲージ配置位置

圧縮域のひずみは解析値が実験値を上まわり、引張域では実験値が解析値を上まわる結果となった。しかし、ひずみ分布の傾向は実験とほぼ一致する形となった。この様に、ひずみ誤差が現れた要因は、解析条件のモデル化に問題があるものと思われる。実際の実験体は定着体背面方向にも桁が連続していたが、解析では計算の効率化のため定着体背面60cmで桁をカットし、そのカット面該当の節点の拘束を自由とした。この条件の相違により定着体背面の桁の拘束力が考慮されず、定着体前面では圧縮力が増し、定着体背面で引張力が減少したものと思われる。(図-5)に定着体と桁ウェブ界面での面外方向応力を、(図-6)にせん断力を示す。(図-5)の応力性状図より定着体前部には、定着体自身の回転変形に伴う桁面外方向の圧縮応力域があらわれ、定着体後部には引張応力域があらわれていることが確認できる。(図-6)

表-3. ひずみ値

		(μ)			
No.	実験値	解析値	No.	実験値	解析値
1	42	21	5	29	21
2	54	47	6	-101	-140
3	78	58	7	-116	-159
4	60	45	8	-123	-149

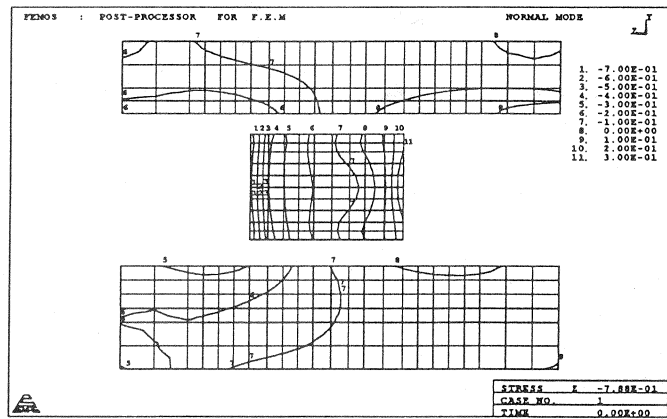


図-5 面外方向応力分布図

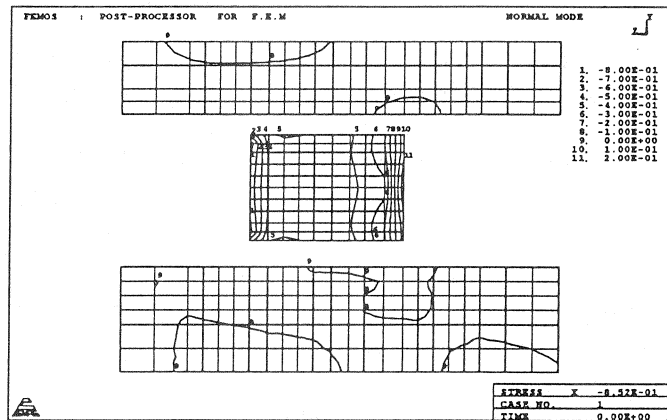


図-6 せん断応力分布図

から定着体のせん断伝達部の中心が定着体前方に圧縮領域として集中していることが確認できる。このとき、定着体後部では引張応力域があらわれている。これは、定着体と桁のウェブの接合面で、剥離が起り、剥離した部分の桁ウェブ部が後方に引っ張られ状態になることを示唆している。実験において、荷重の増加により定着体の剥離が定着体の後部から確認され、ひずみゲージが引っ張りの値を示した。つまり、実験結果とこの応力性状は一致する結果となった。

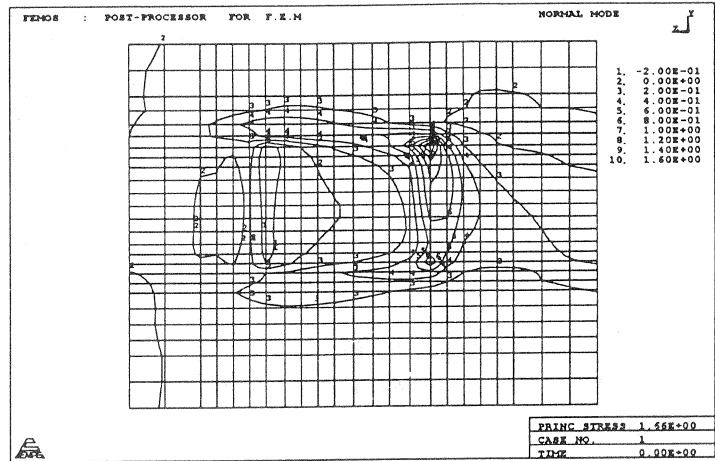


図-7 最大主応力分布図(片側緊張・緊張側)

(2) 片側緊張供試体

定着体周辺の最大主応力の分布を外ケーブル配置側ウェブ表面と反対側ウェブ表面に分けて(図-7)、(図-8)に示す。両ウェブ表面の最大主応力分布が逆の位相を示した。緊張側ウェブ表面では、定着体緊張方向前面に圧縮領域が現れたのに対して、反対側では定着体緊張方向背面が圧縮領域となった。これはウェブが片側配置された外ケーブルにより平面方向に曲げ変形を起こしたものと推測できる。応力の

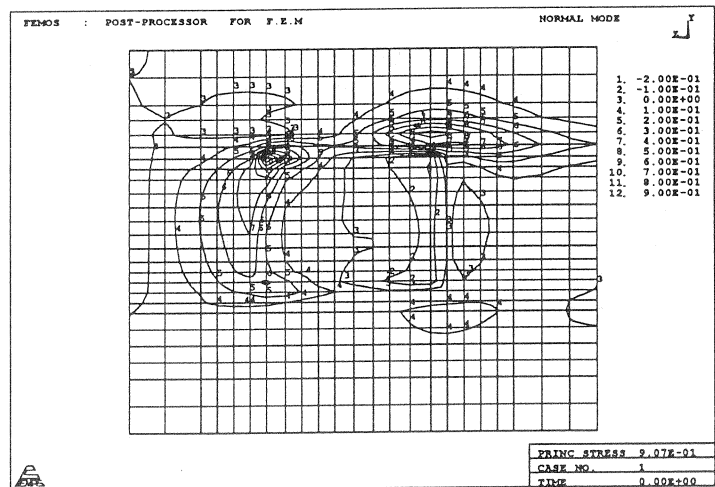


図-8 最大主応力分布図(片側緊張・反対側)

等高線を見ると定着体上縁の近傍ウェブに密な領域が集中している。このことは定着体を片側緊張した場合、外ケーブルの定着位の偏心効果が両側緊張の場合よりも顕著になることを表している。(図-9)に緊張鋼材配置側定着体のせん断応力分布図を、(図-10)に緊張鋼材の配置を行わなかった側定着体のせん断応力分布図を示す。図から緊張鋼材を配置した側では定着体のせん断応力の分布の中心が緊張方向前方に集中し、一方、緊張鋼材の配置をおこなわなかった側では定着体のせん断応力の分布

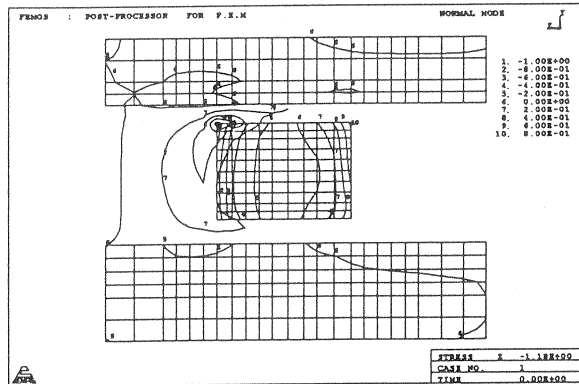


図-9 せん断応力分布図(緊張側)

の中心が緊張方向後方に集中する形となった。

5. まとめ

今回の線形弾性解析の結果、以下の3つの結論に至った。

- ① 設計レベルの外ケーブル緊張力に対して、定着体とその近傍ウェブの線形弾性解析を行った結果、応力の性状の傾向については一様の一致を示したが、ひずみ等については解析モデルの簡略化により異なる結果となった。発表当日にはこの問題点を考慮した解析を発表する予定である。
- ② 両側緊張定着体と片側緊張定着体の解析結果より、最大主応力の分布に明らかな違いが現れた。また、外ケーブルの定着位置による偏心効果は片側定着の場合が顕著な結果となった。このことから、片側緊張を行う場合、偏心効果を低減させる場合に有限要素法を用いることが効果的であると判断できる。
- ③ 定着体のウェブからの剥離および破壊に至るまでの非線形材料モデルを考慮した有限要素法解析を行う場合、定着体と桁ウェブの接合面の取り扱いが非常に重要であり、今後、さらなる研究が必要である。

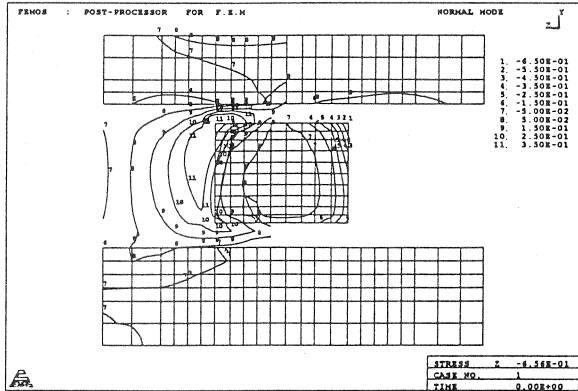


図-10 せん断応力分布図(反対側)

【参考文献】

関口 富夫：「中空PC鋼棒を用いた外ケーブル定着体の耐力試験確認」プレストレストコンクリートシンポジウム、1995年  
 永井 淳一、山口 慶三、北川 琢也、中井 祐司：「曽根高架橋ほか2橋の橋梁補強工事」プレストレストコンクリート、Vol.37, No.6, Nov.1995