

1. まえかき

最近の鉄道橋においては、鉄桁より騒音が低いことや、一般に中程度のスパンで経済的である等のために、PC桁の使用が多くなっている。しかし、図-1に示すような中間橋脚を用いて線路直上を渡る場合等、鉄桁で容易に行われた桁端部の切欠きかPC桁では従来行われていない。この部分に、せん断に対する補強のため鋼材を併用してこれを可能にする形式は種々考えられるが、今回はI形鋼を埋込み、隅角部のひびわれ防止のためにPC鋼棒で補強締めする形式をとり、そのFEM解析を行ったので結果を報告する。

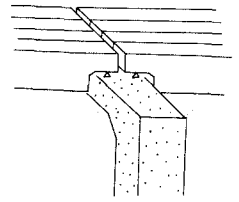


図-1 線路直上橋脚

2. 解析方法

図-2は対象桁の端部付近の概略を示したものである。解析の対象は主としてゲルバーセンツ部分であるが、最も簡単なモデルとして桁のスパン中心までを取り出した。コンクリートおよび鋼材には平面応力要素を使用し、

コンクリート

の肉厚分布は、各断面の平均厚をとった。

PC鋼線およびPC鋼棒にはトラス要素を使用し、2本

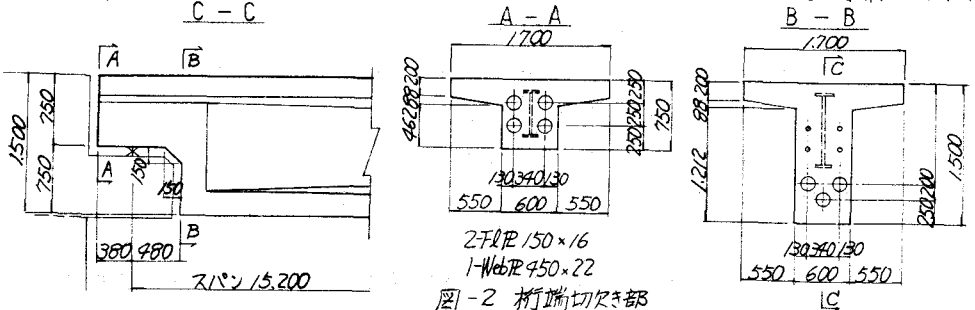


図-2 桁端切欠き部

以上の緊張材の重視する部分は断面積を加算した。また、プレストレスの効果は強度によるトラス要素の収縮として入力した。材料定数は表-1に示す。拘束条件は桁中央でX, Z方向固定、Y方向可動。支端は

材 料	ヤング率 Kg/cm ²	ポアソン比	有効断面積 (mm ²)	単位体積重量 (Kg/mm ³)	弾性係数 (Kg/mm ²)	熱膨張係数 (1/°C)
コンクリート ($E_{CR}=4400\text{Kg/cm}^2$)	3500	0.16	—	2.5×10^{-3}	1.51×10^8	—
鋼材 (SS41)	21000	0.33	—	7.85×10^{-3}	7.9×10^8	—
PC鋼線 (12φ8)	20000	0.33	603.2	—	—	5.8
PC鋼棒 (φ32)	20000	0.33	789.3	—	—	6.6

表-1 材料定数等

単純支持でX方向のみ可動である。メッシュ分割は図-3に示してあり、節点数231、要素数250である。また、鋼ウェブはコンクリートと79節点で結合され、上下フランジは87節点で鋼ウェブと結合されている。従って、コンクリートと鋼はフランジ縁端以外は完全にボンドされている。

条件	主ケーブル	荷重	鉄骨	部分緊張		備考
				90°	60°	
CASE	1	68 $\times$ 7 11 t/m	2.5 t/m	有		
	2	68 $\times$ 7 11 t/m	2.5 t/m	有	52 $\times$ 2	
	3	68 $\times$ 7 11 t/m	2.5 t/m	有	52 $\times$ 2	
	4	68 $\times$ 7 11 t/m	2.5 t/m	有	52 $\times$ 2	52 $\times$ 2
	5	68 $\times$ 7 11 t/m	2.5 t/m		52 $\times$ 2	52 $\times$ 2
	6	68 $\times$ 7 11 t/m	2.5 t/m	有	52 $\times$ 2	52 $\times$ 2

表-2 検討ケース

検討ケースは表-2に示す。緊張力は、主ケーブル68t/本、補強締め鋼棒で52t/本である。また、等分布荷重とは、版上静荷重と活荷重の合計であり、11t/mを圧力として与えた。自重は要素荷重で入力した。なお、解析に使用したブロック

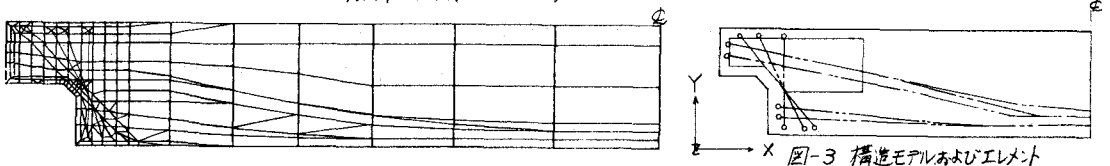


図-3 構造モデルおよびエレメント

ラムは、国鉄構造物設計事務所が開発したSTAPS-5である。

最後にコンクリート中に埋込んだ鋼断面なコンクリートのクリープ、乾燥収縮によりフレストレスに及ぼす影響の検討も試みた。これは本来塑性プログラムを用いて行うのが妥当であるが、経済的、技術的に困難が多いので、便宜的に弾性解析プログラムを使用した。即ち、コンクリートのクリープ、乾燥収縮に相当する歪を逆に、鋼の熱膨張に置換え、コンクリート中で抵抗させた状態で解析した。この時用いたコンクリートのクリープ係数 $\phi=2.0$ 、乾燥収縮 $\epsilon_s=1.5 \times 10^{-4}$ である。なお、クリープについては先の解析で求めた死荷重載荷時の垂直応力 σ 及び σ_y をX方向及びY方向の温度変化に換算して利用した。また乾燥収縮に相当する温度変化はX方向、Y方向ともに同一の値を全エレメントに与えた。

3. 結果と考察

1.) 補強締めを全くしないCase1の主応力分布を図-4に示す。この状態では、下側隅角部B点に 45 kg/cm^2 の引張応力が発生し橋軸方向に近い角度にひびわれか出ること予想される。A点よりもB点に危険になるのは、下側主ケーブルの影響によるものである。また、隅角部から腹部にかけて、一般のPC桁で制限されている斜め引張応力が散在している。従って、隅角部の補強が必要である。

2.) 図-5は隅角部補強用のPC鋼棒を 90° 、 60° 及び両者を組合せた場合の解析結果から、隅角部附近について、被り 2.5 cm 位置の主応力をプロットしたものである。これよりCase2(90° のみ)ではかなりB点の補強はなされるもののA点、B点の応力が極端に不均衡であり、Case3(60° のみ)ではB点の補強効果はかなりよい。B点の近くで両鋼棒を交差させたCase4が最もよく、その効果は各々の効果を累加したものよりもよい結果となっている。これより、鋼棒の配置は、B点に近く、しかもフレストレスの合力方向がB点から発生すると予想されるひびわれと直交するようにするかよいと考えられる。

3.) Case5は、Case4から鋼を取除いた場合であるが、鋼なフレストレスの導入を阻害したため隅角部での圧縮主応力として、約10~20%増加している。

4.) 今回の解析に先立ち、隅角部補強の鋼材量をひびわれ荷重より算定した。解析結果で見る限りかなり余裕があると考えられる。

5.) 隅角部には、設計荷重載荷時に約 10 kg/cm^2 程度の圧縮力を残すのかよいと言われており、今回想定したPC鋼材量は過剰のように思える。しかし、長期的にコンクリートのクリープ、乾燥収縮が起った場合を考えると、コンクリート中に埋込んだ鋼がこれに抵抗して、当初導入したフレストレスを減少させることも見込んでおく必要がある。そこで、前述の方法でCase4について検討した結果、隅角部付近には、圧縮応力が残るもののかなりのフレストレス損失があるので鋼材量の削減は見込めないことと判った。しかし、この解析の際想定した条件は単純化のために、弾性係数比を全期にわたって $n=6$ と仮定している等かなり安全側に見積った傾向があり、この点更に検討を進めたい。

4. おわりに

今回のFEM解析により、PC桁ゲルバーヒンズ部に鋼工形断面を埋込んだ場合の挙動と補強方法に関して一定限の方針を得た。今後、これを実験的に確かめることも予定している。また、鋼を併用した端部切欠きPC桁の構造として他に種々考えており、今後これを進めて行きたい。なお、端部を裸の鉄骨で作る、PC桁と結合する方法も検討中である。おわりにあたり、本解析のご指導をいただいた構造物設計事務所次長 阿部英彦氏、主任技師 神谷隆氏、また、多大な協力をいただいた井口光雄氏に謝意を表します。

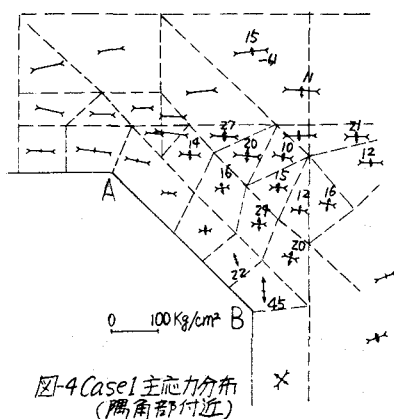


図-4 Case1主応力分布
(隅角部付近)

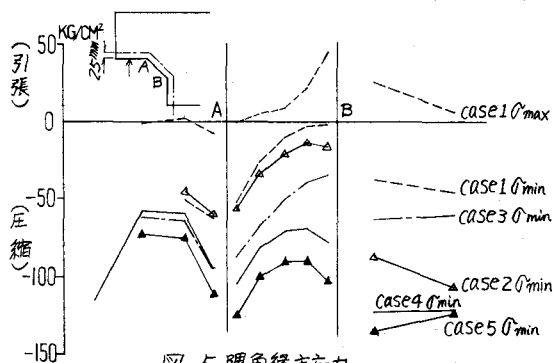


図-5 隅角縁主応力