

V-443

外ケーブルP C橋の設計手法に関する研究

首都高速道路公団 正会員 川田 成彦
 首都高速道路公団 正会員 沼田昌一郎
 首都高速道路公団 正会員 高津 和義
 首都高速道路公団 正会員 柄川 伸一

1. まえがき

外ケーブル構造の曲げ破壊耐力を簡便に算定する手法としては、外ケーブルの応力増加を無視する手法がCEB-FIPモデルコード等の海外の諸規定や国内の外ケーブルガイドライン（（財）高速道路調査会）で採用されている。本研究は、これらの手法の妥当性・問題点を明確にするために、試設計モデルを設定し、材料の非線形性および部材の変形に伴う幾何非線形性を考慮した非線形解析を実施したものである。

2. 試設計モデル

(1)概要および部材設計

対象試設計モデルは幅員9.2m（有効幅員8.0m）の3径間連続箱桁橋であり、等径間等桁高とした。また、内外ケーブル比率は側径間部で3：7で、外ケーブル全6本のうち、2本は全長にわたり連続、4本は1径間長と2径間長として支点上で交差定着する。設計荷重時の有効緊張応力度は、内ケーブル、外ケーブルともに $0.5 \sim 0.56 \sigma_{pu}$ である。構造諸元及びP C鋼材配置図を図1に、材料特性及び設計荷重時の応力状態を表1、2に示す。図中、A、B、Cは着目断面記号である。

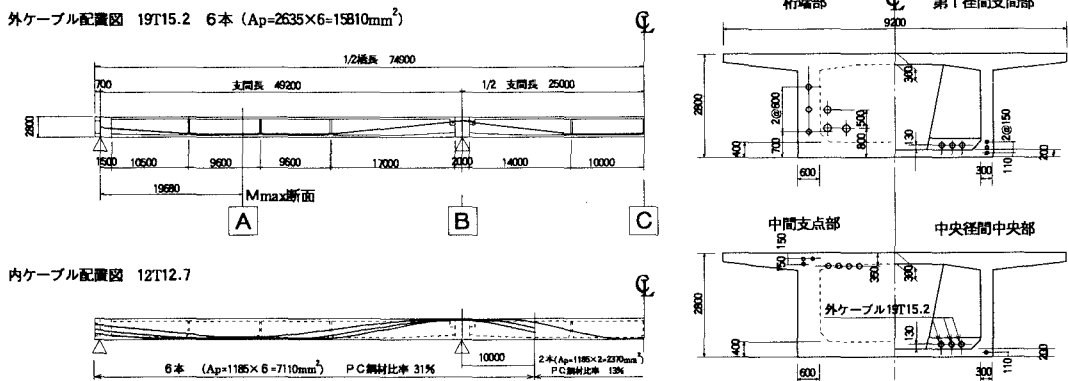


図1 構造諸元およびP C鋼材配置図

(2)終局荷重時の検討（表3）

破壊抵抗モーメントは、一般に配置される鉄筋を有効として、外ケーブル応力増加を0として求めた場合の値を示している。このモデルでは、設計荷重時を満足するようにP C鋼材を配置したものの、終局荷重時には側径間中央部及び中央径間中央部において安全率が1.0を下回る。

表1 材料特性

コンクリート	設計基準強度	σ_{ck}	400kgf/cm ²
PC鋼材	引張強度	σ_{pu}	190kgf/mm ²
鉄筋	降伏強度	σ_{sy}	35kgf/mm ²

表2 設計荷重時の検討

断面	曲げモーメント(tf・m)		応力度(kgf/cm ²)		
	死荷重	生荷重	上縁	下縁	
A 側径間部	3287	658	1313	70.8	-1.5
B 中間支点部	-4491	1645	-1181	1.6	65.9
C 中央径間部	993	1645	1026	50.5	-2.7

表3 終局荷重時の検討

断面	作用モーメント	抵抗モーメント	安全率
	M_d	M_u	$S_f = M_u / M_d$
A	1.3D+2.5L; 1.7(D+L)	外ケーブル張力増加を無視	0.919
B	-	-	1.039
C	5501	5474	0.995

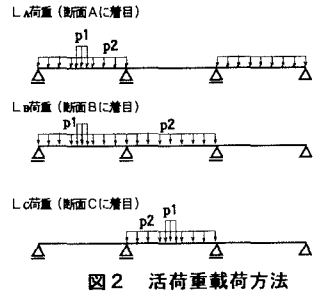
3. 非線形解析

(1) 概要

梁要素の断面をファイバーモデルとすることにより材料非線形を、座標を更新することにより幾何非線形性を考慮した非線形解析を行った。材料カーブは道示2.2.4に基づき、また破壊はコンクリート歪が 3500μ に達した時とした。増分荷重は道示2.1.1に従い、次のようにした。

$$\begin{aligned} \text{case A: } & \alpha \cdot (D + L_A) + 1.0 \text{ Pre} \\ \text{case B: } & \alpha \cdot (D + L_B) + 1.0 \text{ Pre} \\ \text{case C: } & 1.3D + \alpha \cdot L_C + 1.0 \text{ Pre} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} D : \text{死荷重} \\ L_i : i \text{断面に着目した活荷重 (図2)} \\ \text{Pre: プレストレス力} \end{array} \right.$$

α を逐次増分する



(2) 解析結果

図3～5にcase A～case Cの曲げモーメント及び外ケーブル応力増加の解析結果を示す。図中、モーメントの実線は非線形解析値を、破線は弾性解析値を示す。また、一点鎖線は、張力増加を無視して算出した各断面の抵抗モーメントである。外ケーブル応力増加量は、一部中間支点横桁で定着されているため支間により異なり、側径間、中央径間の各々の平均値を示す。

case B では、プレストレス2次力が小さくなり断面Bに不利な方向に曲げモーメントが生じるが、外ケーブル応力増加により断面耐力が増加している。case A では、 $\alpha=1.7$ (終局荷重)時に、外ケーブル応力が約 18 kgf/mm^2 増加することにより、抵抗モーメントは設計値 $M_{u,A}$ よりも上昇し、破壊に至らない。また、支間部のモーメントが中間支点へと分配されることにより、安全率は更に上昇している。case C では、 $\alpha=2.5$ (終局荷重)時には、外ケーブル応力増加は約 3 kgf/mm^2 と僅かではあるが、再分配により作用モーメントが低減し、破壊に至っていない。case A, C は、その後変形が進み外ケーブル応力が増大し、最終的には中間支点部の外ケーブル応力増加量の小さい側で破壊する。破壊時の外ケーブル応力増加量は、いずれも 20 kgf/mm^2 以上である。

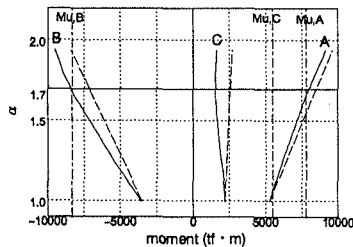


図3 側径間中央部A点に着目した場合(case A)

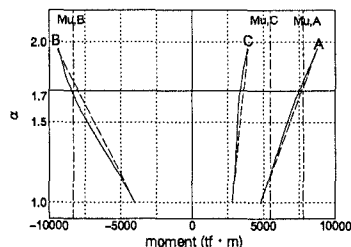


図4 中間支点部B点に着目した場合(case C)

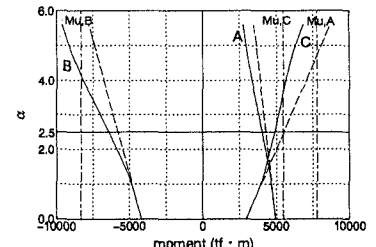


図5 中央径間中央部C点に着目した場合(case C)

4. まとめ

既存手法による終局荷重時の検討では安全率が1を下回るような外ケーブルPC橋においても、非線形解析によると十分な安全度を有していることが分かった。この耐力増加は、支間部に着目した場合では外ケーブルの応力増加の影響が大きいが、径間中央部ではモーメント再分配による余力による所が大きい。外ケーブルを用いた不静定構造物の耐荷力を評価する上で、この再分配挙動を確認することが重要であり、従って、部材の塑性回転能を考慮しない線形計算を用いる限り、外ケーブルの応力増加量を一義的に定義することは難しいと思われる。現在、連続桁の外ケーブル応力増加を詳細に把握・評価する目的のために、更に、いろいろなパラメータを設定した非線形解析を実施している。

なお、非線形解析においては、プレストレスト・コンクリート建設業協会の協力を得て実施した。