

外ケーブル構造の終局荷重作用時における張力増分量に関する研究

オリエンタル建設 (株) 正会員 ○近藤 琢也
 日本道路公団 静岡建設局 正会員 青木 圭一
 (株) 日本構造橋梁研究所 正会員 花島 崇
 オリエンタル建設 (株) 正会員 正司 明夫

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート構造の橋梁において、経済性や維持管理の面で有用性が認められる外ケーブル構造が多く採用されている。外ケーブル構造では、終局荷重作用時における外ケーブルの張力増分量を正確に考慮することにより、必要鋼材量を軽減することが可能となり、施工性および経済性が向上する。張力増分量を算出するひとつの方法として材料非線形および幾何学的非線形性を考慮した複合非線形解析があるが、解析プログラムの調達やデータ作成の煩雑さから、設計において常にこれを用いることは効率的ではないため、多数の張力増分量算定の簡易式が提案されている。

角谷らは、文献1)において波形鋼板ウェブ構造の張力増分量の算定式を提案しているが、本検討では、この提案式の適用拡大を図るため、3径間の変断面1室箱桁橋に関して複合非線形解析により張力増分量を算出し、その結果を用いて張力増分量算出のための簡易式を提案した。その後、波形鋼板ウェブ構造とコンクリートウェブ（以下箱桁）構造の張力増分量算出について比較を行った。

2. 解析モデル

図-1に解析の対象モデルとした橋梁を示す。解析モデルは3径間の変断面（桁高6.5m～3.0m）1室箱桁橋で、橋軸方向は対称形状とした。解析モデルは文献1)で報告されている橋梁を参考とし、これに近い構造寸法を設定した。また、ラーメン構造と連続桁構造の2つの構造について検討し、連続構造においては図-1における橋脚上部をピン構造としてモデル化した。また、ケーブル配置は全外ケーブル方式とし、ラーメン構造のモデルでは内外ケーブル併用方式についても検討した。内外ケーブル併用

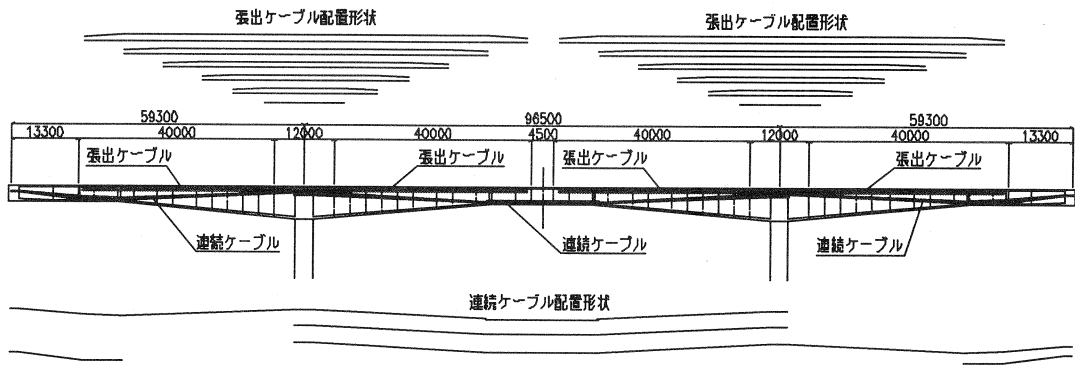


図-1 解析対象モデル（ラーメン構造）

方式は張出しケーブルを内ケーブルとし、連続ケーブルのみを外ケーブル構造とした。外ケーブルは19S15.2を使用した。張出しケーブルは2ブロックごとの定着とし、1橋脚あたり22本、連続ケーブルは柱頭部で6本の配置とした。この他に中央閉合用のケーブル2本、側径間閉合用ケーブルを1ヶ所あたり4本配置した。

活荷重載荷状態は、中央径間中央断面、柱頭部付近、および側径間部における断面力が各々最大となる3種類の荷重状態を図-2に示す状態で設定し、それぞれの解析モデルに載荷した。全9ケースの解析ケースを表-1に示す。

解析は骨組解析による、材料非線形および幾何学的非線形を考慮した複合非線形解析を用いて行った。外ケーブルは部材として評価し、主桁部材はファイバー要素でモデル化した。鉄筋および、内ケーブルは主桁ファイバー要素内に配置した。内ケーブルプレストレスは内力として入力し、永久荷重作用時断面力には施工段階の影響、クリープおよび乾燥収縮の影響を考慮した。また、ディビーター部は摩擦を考慮せず水平方向には自由に滑動する部材としてモデル化した。終局状態の判定は、主桁断面の圧縮ひずみが 3500μ に達したときとした。

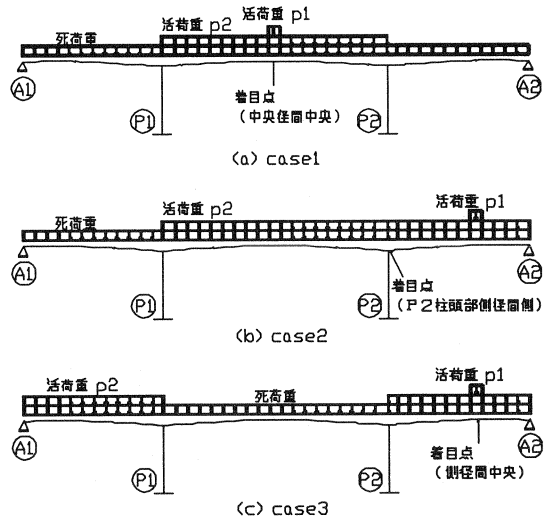


図-2 活荷重載荷ケース

表-1 解析ケース

解析ケース	ケーブル配置	構造形式	着目位置
case1R	全外ケーブル	ラーメン	中央断面
case2R		"	柱頭部
case3R		"	側径間
case1C		連続	中央断面
case2C		"	柱頭部
case3C		"	側径間
case1I	内ケーブル・外ケーブル併用	ラーメン	中央断面
case2I		"	柱頭部
case3I		"	側径間

3. 張力増分量とその算定式の提案

張力増分量は、終局荷重載荷状態の外ケーブルの変形状態が大きく関係するため、外ケーブルの定着間距離(L)と有効高さ(dp)との比率(L/dp)と相関が大きくなる。したがって、本報告においては、 dp/L をパラメーターとする張力増分量の算出式を提案する。図-3に dp/L と各ケーブルの張力増分量の関係を示す。図は構造ごとに全荷重ケースの結果を示している。また、全外ケーブル構造では、張出し架設用の外ケーブルと連続ケーブルがあるため、これらを分けて図示している。この図から得た張力増分量($\Delta\sigma_p$)の算出式を式(1)に示す。

$$\Delta\sigma_p = \begin{cases} 0.0 & (L/dp > 50) \\ k \times dp/L \leq \Delta\sigma_p \max & (L/dp \leq 50) \end{cases} \quad (1)$$

ここに dp ; ケーブル有効高さ (mm)
 L ; ケーブル定着間距離 (mm)
 k ; ケーブル種別毎に設定される係数
 張出しケーブル ; $k = 1200$
 連続ケーブル ; $k = 4000$

$\Delta\sigma_{\max}$; 構造別, ケーブル種別毎に設定される限界値
 張出しケーブル限界値 ; $\Delta\sigma_{\max} = 350$ (N/mm²)
 連続ケーブル限界値(ラーメン構造) ; $\Delta\sigma_{\max} = 400$ (N/mm²)
 連続ケーブル限界値(連続桁構造) ; $\Delta\sigma_{\max} = 450$ (N/mm²)

式-1 は角谷らの式における k および $\Delta\sigma_{\max}$ の値を変更したものである。なお、今回の算定式では張出しケーブルに置ける dp は柱頭部での有効高さを用い、連続ケーブルにおける dp は、柱頭部と定着部の有効高さの平均値を用いている。図-3 (a) ではラーメン構造と連続構造での張出しケーブルの比較を行っているが、これらの構造による違いはほとんどなく、張力増分量はほぼ同じ値を示している。図-3 (b) では、ラーメン構造と連続構造での連続ケーブルの比較を行っている。連続構造とラーメン構造で、張力増分量が最も大きい各々の点は中央径間に着目した状態 (case1) での値を示している。連続構造のほうが大きな値を示しているのは、中央に着目した場合連続構造のほうがたわみが大きくその分張力も大きくなるためである。

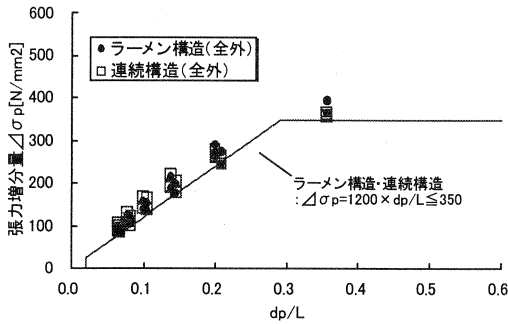


図-3 (a) 張出しケーブル張力増分量

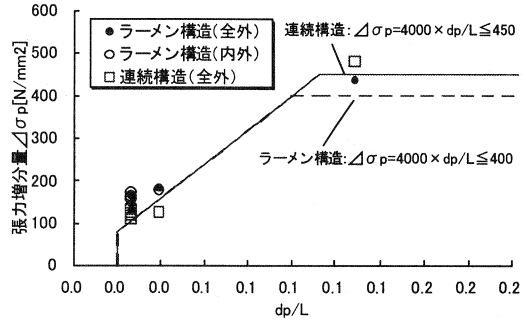


図-3 (b) 連続ケーブル張力増分量

4. 箱桁橋と波形鋼板ウエブ橋の張力増分量の比較

表-2に、文献1)に示される波形鋼板ウエブ橋における張力増分量の算定式と、前述の箱桁橋(コンクリートウエブ)における算定式の係数の一覧を示す。波形鋼板ウエブ橋では、中央径間部と側径間部で算定式を変化させている。波形鋼板ウエブ橋の結果と比較すると、ラーメン構造の連続ケーブルで同じ結果になったが、他は若干異なる結果となった。

張出しケーブルでは、波形鋼板ウエブ橋が側径間と中央径間で k の値が異なるのに対し、本

表-2 波形鋼板ウエブ橋と箱桁橋の算定式の一覧

構造	ケーブル種別	着目断面	波形鋼板ウエブ		箱桁	
			k	$\Delta\sigma_{\max}$	k	$\Delta\sigma_{\max}$
ラーメン	張出し	中央径間	1500	400	1200	350
		側径間	1000	200	1200	350
	連続	中央径間	4000	400	4000	400
		側径間	4000	400	4000	400
連続	張出し	中央径間	1500	400	1200	350
		側径間	1000	200	1200	350
	連続	中央径間	4000	400	4000	450
		側径間	2000	400	4000	450

報告のモデルでは1つの定数で表現が可能となった。図-4(a)~(d)に各々の結果の比較を示す。(a)と(c)を見ると、箱桁橋は中央径間も側径間もほぼ同じ結果を示していることが分かるが、波形鋼板ウェブ橋では着目径間によって明らかに結果が異なることが分かる。連続ケーブルについてはラーメン構造および連続構造ともに k の値は同じ値を示している。ただし、波形鋼板ウェブの側径間のみ k の値が小さくなっている。これらの係数の違いについては、変形状の違いや、断面性能の違いによる終局荷重倍率の違いなどが考えられるが、今後より詳細な検討を行っていく必要がある。

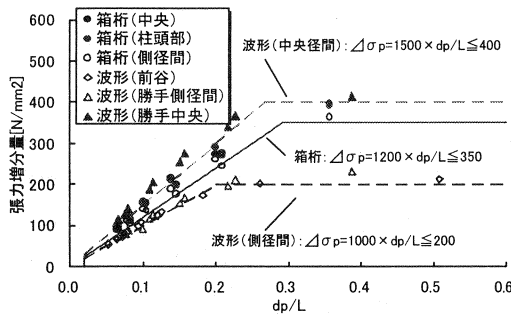


図-4(a) ラーメン構造 (張出しケーブル)

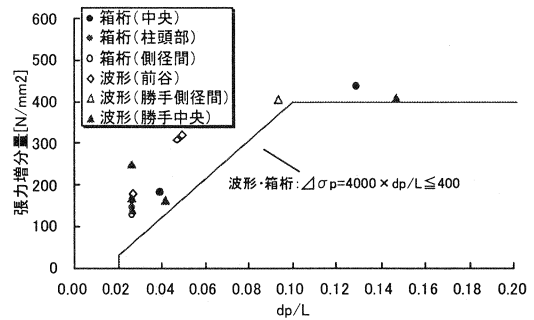


図-4(b) ラーメン構造 (連続ケーブル)

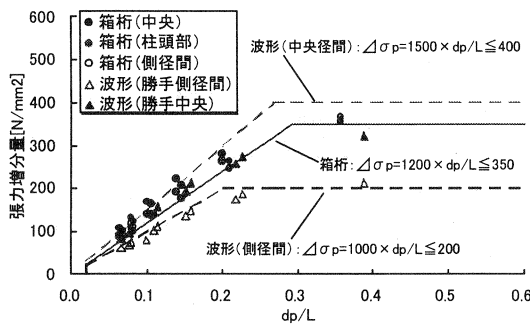


図-4(c) 連続構造 (張出しケーブル)

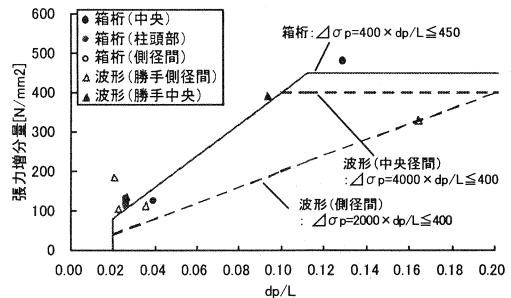


図-4(d) 連続構造 (連続ケーブル)

5. おわりに

張力増分量を簡便に算出し設計に考慮することは、外ケーブルの配置本数の多い橋梁では鋼材量を減らせるため、より経済的な設計が期待できる。本報告は、1室箱桁変断面を有する3径間の張出し架設を想定した一般的な橋梁に対して検討を行ったものである。今回の検討では限られた構造を対象としており、全ての構造形式に適用できるものではないが、今後多くの構造形式や内ケーブルと外ケーブルの配置比率を変化させた場合などについて、更なる検証を行うことにより、その精度を確認することが可能であると考えられる。また、今回の解析モデルでは外ケーブル偏向部の摩擦を考慮していないが、これを考慮した場合についての結果を検証することも必要であると考えられる。

参考文献

- 1) Tsutomu Kadotani et al. : A study of the ultimate strength prestressed concrete bridges with corrugated steel plate webs with a entirely external cable structure, The first fib congress 2002 Session5 pp. 295~pp. 302