

I-32 外ケーブルの定着長が既設鋼橋補強に及ぼす解析的研究

開発土木研究所 正員 西村 敦史
 開発土木研究所 正員 金子 学
 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志

1. はじめに

増大する貨物輸送の省力化、円滑化を図るため、道路構造令の車両の総重量の最高限度がこれまでの20 tから25 tに引き上げられた。それに伴い、道路橋示方書では主に設計荷重の条項が平成5年11月に改訂された。この改訂の結果、現在供用中の多数の橋梁が設計応力等で何らかの課題を受けるに至っている。このような情勢の下、既設橋梁の耐荷力向上のための補強工法の確立が早急に望まれている。

主桁の耐荷力向上手法のうち外ケーブル工法は、応力改善効果が大ききことや、補強による死荷重の増加が小さいことなど、非常に優れた特徴を持っている。

ケーブルはウェブ側面に配置するのが一般的であるが、下フランジの引張応力を軽減するには、下フランジの下方に大きく偏心させる方法がより効果的と考えられる。

しかしながら、外ケーブル工法を鋼橋の補強に用いる場合のケーブル偏心量やケーブルプレストレス量等に関する十分な検討事例はないのが現状である。

そこで本研究では、ケーブルのプレストレス導入量や定着治具付近における局所応力の検討などを実橋規模の橋梁モデルにより解析的に行ったので、ここに報告する。

2. 検討の方針

ケーブルプレストレスによって桁構造に偏心曲げモーメントを導入する場合、偏心量を大きくすると、曲げ成分が増加し、同一曲げモーメントを得るためのプレストレス量が小さくなる。このため、長支間の場合にも少ないPC鋼材で対応が可能となり、不要な軸力成分を低減できるなどの利点がある。しかし、偏心量を大きくすることによって、定着治具付近における曲げ応力の増大、定着治具付近における局所応力が厳しくなることなどが予想される。

これらの課題について、ここでは、実橋規模における偏心量を変化させた計算により、プレストレス量、および定着治具設計断面力を求めて検討を加える。さらに、定着治具付近の局部応力について検証するためにFEM解析を行う。

3. フレーム解析による外ケーブル偏心量の検討

1) 検討方法

解析対象モデルは、建設省制定土木構造物標準設計（プレートガーダー）（以下、標準設計）の中で最も長い支間長である、44mおよび25mとし、最もモーメントが大きい支間中央断面でフレーム解析により応力検討を行うこととした。桁配置はプレートガーダーの標準設計を用いた。ただし、桁形式は非合成単純桁として新たに断面を決定した。

導入プレストレス量決定時の応力条件は常時荷重を対象とし、TL-20で設計された桁のB活荷重増分を外ケーブルに負担させることと仮定した。また、実橋モデルの断面力は、TL-20およびB活荷重ともに、格子解析によって求めた。

An analytic study on the reinforcement using extra-cable of existing single-span steel bridges by the difference of the length of the bracket
 by Atsushi NISHIMURA, Manabu KANEKO and Masashi SATO

面は大きくなるが、通常の範囲での設計が可能であることが分かった。

表-1 定着部応力と設計断面

L	0.20	0.50	1.00	2.00
定着治具断面	1-flg 230*25	2-flg 230*25	2-flg 230*25	2-flg 230*25
	2-web 355*19	2-web 355*19	2-web 455*19	2-web 555*19
	I=28727	I=55682	I=96068	I=150850
M_{psc} (tf・m)	-33.21	-36.68	-40.29	-44.01
M_{br} (tf・m)	7.38	15.28	23.70	32.60
δ_{br} (mm)	2.14	2.82	4.20	7.53

L : 定着長 (m)

M_{br} : 定着治具取付点の曲げモーメント

M_{psc} : プレストレスにより主桁に導入される曲げモーメント δ_{br} : 定着治具のプレストレス導入点での支間方向変位

次に、定着部の曲げ剛性を主桁中央断面程度に大きくした場合の結果を表-2に示す。表より、定着部先端の変位を少し抑えることができるという結果が得られた。

表-2 定着部の曲げ剛性を大きくした場合の結果

L	0.20	0.50	1.00	2.00
M_{br} (tf・m)	7.38	15.25	23.67	32.60
δ_{br} (mm)	2.13	2.71	3.83	6.32

M_{br} : 定着治具取付点の曲げモーメント

δ_{br} : 定着治具のプレストレス導入点での支間方向変位

4) 偏心量を変えたときの補強効果に及ぼす影響

支間中央に集中荷重を載荷したときの主桁曲げモーメントと支間中央たわみと増加プレストレス量を、無補強の桁に対する、上記のように補強した2通りの桁についてそれぞれ比をとり、定着長毎に補強効果を見たものが表-3である。なお、表内の上段数値は、定着治具を断面設計した場合の結果を示し、下段数値は、定着治具を剛部材とした場合の結果を示す。

表-3 偏心量を変えたときの補強効果に及ぼす影響

L	0.20	0.50	1.00	2.00
主桁曲げモーメント比	0.97	0.95	0.91	0.84
	0.97	0.95	0.91	0.83
支間中央たわみ比	0.96	0.93	0.87	0.75
	0.95	0.93	0.86	0.73
増加P S量 (tf)	0.192	0.245	0.313	0.373
	0.192	0.246	0.319	0.403

増加P S量 : 支間中央の集中荷重1tfあたりの増加P S量 (tf)

表-3より、主桁曲げモーメント比と支間中央たわみ比は、偏心量が大きくなるにつれて低減するが、増加プレストレス量は偏心量が大きくなるにつれて増加する傾向にある。

さらに、定着長の変化の割に主桁曲げモーメントや支間中央たわみ量の変化割合は小さく、2mの定着長まで検討を行った結果、通常の範囲の設計で断面力レベルでは問題がないことが分かった。また、増加プレストレス量についても、導入プレストレスが小さいことから、問題とならないレベルであることが分かる。

4. 定着部周辺の局所応力に関する検討

1) 解析方法の概要

解析には有限要素法プログラムはLSAPを用い、解析モデルは、支間長12mの既設鋼橋について、桁端から載荷点(支間中央)までの1/2断面モデルとした。

プレストレス導入以降の系は、図-1に示すように主桁1本の骨組モデルとし、平面骨組解析によって応答値の変化を調べた。なお、P C鋼材はφ32のP C鋼棒を用いた。

定着治具長は0.2m、0.5m、1m、2mの4ケースについて検討を行った。

2) 導入プレストレス量の決定

導入プレストレス量は、図-1の骨組モデルから求めた主桁のフランジ応力が、次式を満たすように決定した。

$$\sigma_{ov} \leq \sigma_{PS} = N_{PS} / A + M_{PS} / W$$

ここで、 σ_{ov} : 主桁の超過応力度 M_{PS} : プレストレスによる主桁の曲げモーメント
 σ_{PS} : プレストレス導入による主桁の応力度 A : 主桁の断面積
 N_{PS} : プレストレスによる主桁の軸力 W : 主桁の断面係数

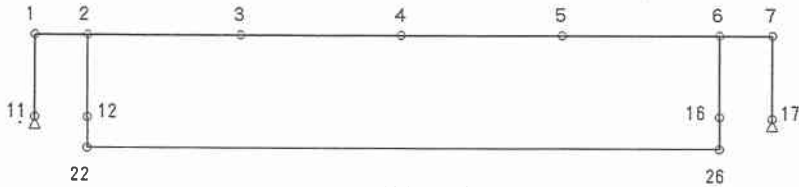


図-1 骨組モデル

上記の計算の結果得られた超過応力度に相当する導入プレストレス量を図-2に示す。解析では、建設省標準設計の非合成プレートガーダー橋を用いているため、一般的な橋梁では、導入プレストレス量はほぼこの範囲にあると考えられる。ただし、B活荷重増分と導入プレストレス量は線形関係であり、活荷重分担率の高い主桁では、この図よりやや大きめの導入プレストレスが必要となる。本検討で対象とした主桁の断面応力は、TL-20による設計断面力に対して30~50kgf/cm²の余裕で決定されている。標準設計における最大支間44mについて検討を行った結果から、ほとんどの場合でP C鋼棒(φ32)1~2本で外ケーブルの構成が可能といえる。

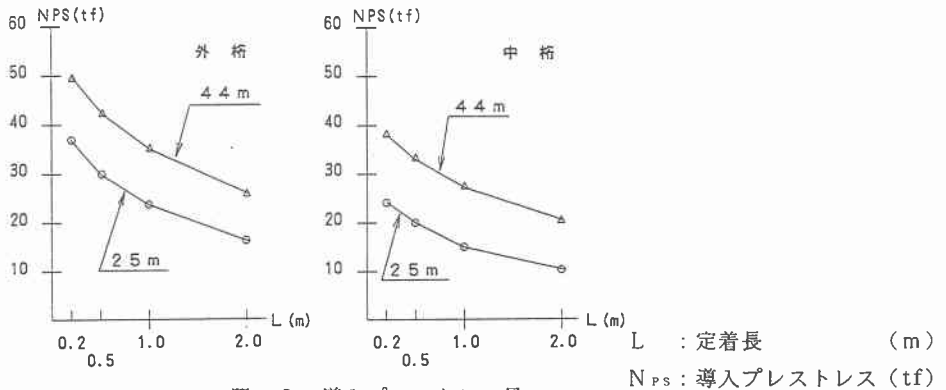


図-2 導入プレストレス量

3) 定着部応力に着目した定着治具の断面設計

設計荷重がTL-20からT25に移行したことによる活荷重の増分は、プレストレスによる応力度のみで受け持ち、定着部には繰り返し荷重がかかることから、疲労の影響を考慮して、定着部の曲げモーメントによる曲げ応力度 σ_{br} を700kgf/cm²として断面設計を行った。この結果は表-1に示す。

定着長が1mを超えると先端の変位が大きくなるため、P C鋼棒の曲げ疲労に対して何らかの対策が必要と考えられる。また、フランジ材が1枚の断面では、ウェブ材が局部座屈するおそれがある。そのため、L=0.5m以上では、ウェブ材の桁座屈を考慮して箱断面としている。

なお、この変位量には主桁の曲げ変形による桁端回転変位も含まれている。

定着長2mまでの場合の断面力を算出し、断面設計を行った結果、定着長が0.5m以上になると定着治具断

解析は、外ケーブル桁の下フランジ応力度が許容応力度（1400kgf/cm²）に達する集中荷重70tにて行った。また、ケーブル張力は定着端に緊張力と増加プレストレス量を加えたものをを入力した。

解析時には、仮に定着部前後に鉛直方向に25cmの補剛材を取り付けた。

解析ケースは、定着治具長により、17cm、48cm、103cmの3ケースとした。

本論文には記載しないが、これまでに、外ケーブル補強に関して定着長が17cmの場合についての実験を行っており、全体系と定着部付近の応力度について実験値とFEM解析値との比較を行った。その結果、両者の値は良く一致しており、FEM解析による検討の妥当性が確認されている。

2) 解析結果

解析を行った3ケースともに、主応力方向は鉛直方向に近く、補剛材も鉛直方向に取り付けることで応力集中は改善できることが分かった。但し、図-3、図-4に示す定着長17cm、48cmの場合は、特に構造上問題となるような応力集中はないが、図-5に示す定着長103cmの場合は、定着治具近傍での最大圧縮応力が約1800kg/cm²となっており、更に鉛直補剛材を付加するか、定着治具の形状変更などの検討をする必要がある。

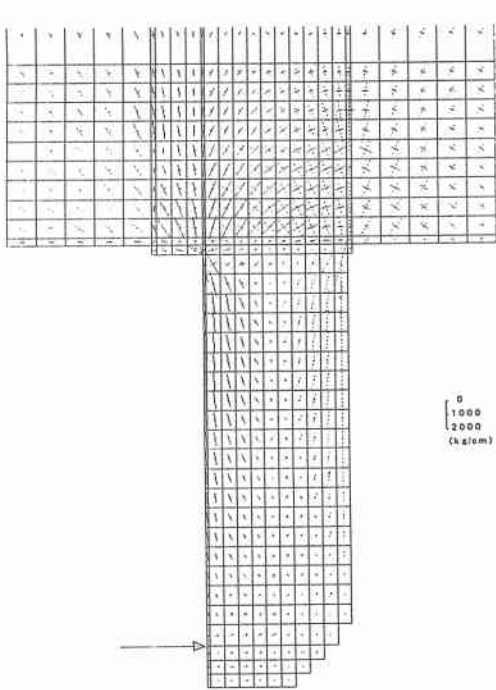


図-5 定着長103cmのケースの主応力図

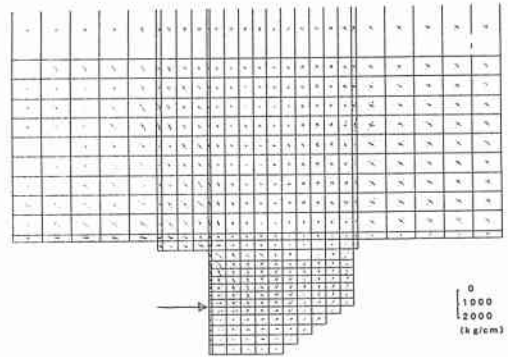


図-3 定着長17cmのケースの主応力図

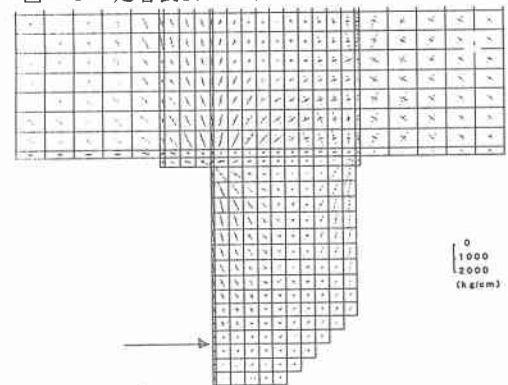


図-4 定着長48cmのケースの主応力図

5. まとめ

ここでは、標準的と考えられる非合成桁橋の主桁補強を想定して、プレストレス量や定着部断面寸法などを試算した。また、既設橋に関するFEM解析を行った。その結果は以下のように取りまとめられる。

- ①建設省標準設計に基づいたプレートガーダー橋の解析の結果、標準的な橋梁では、設計荷重がTL-20からT25に変更されたことに伴う活荷重応力超過量に対応するPC鋼棒は、φ32の場合で1~2本で補強設計が可能である。
- ②定着長2mまでの場合の断面力を算出し、断面設計を行ったが、通常の範囲で設計が可能である。
- ③FEM解析より、定着治具前後における鉛直補剛材の有効性が確認された。