

I-346

長期観点による斜張橋のケーブル張力の管理法に関する研究

名古屋市 正員 岩田隆司 京都大学工学部 正員 渡邊英一
 京都大学工学部 正員 古田 均 大阪市建設局 正員 亀井正博
 大阪工大工学部 正員 栗田章光 京都大学工学部 正員 杉浦邦征

1. はじめに

最近、橋梁構造として吊り構造の有利さからケーブル系橋梁が注目されている。特に、中径間橋梁として斜張橋がよく建設されている。その主要部材であるケーブルは定着部および素線のクリープ現象をともない橋全体のつりあいに影響を与えることが知られるようになった。例えば、ケーブル張力の変動により橋梁の形状変化など橋梁維持管理に重大な影響を与えると考えられ、一般にケーブルのシムプレートの枚数を適宜変えて再緊張を行っているのが現状である。そこで、本研究は、ケーブルのクリープ・リラクセーション挙動を定量的に予測し、ケーブルのシム調整の解析を行い、長期的観点に立った斜張橋のケーブル張力の合理的管理法を確立することを目的とする。

2. 数値解析

ケーブル、コンクリート、地盤を3要素モデル(図1参照)で表せる線形粘弾性体と仮定し、実物大ケーブルを用いた長期引張り試験の結果を用い、図2に示す中央径間238(m)の現在架設中の斜張橋を解析対象として選び、二次元骨組有限要素法を用いて経時挙動解析を行った。

ここで粘弾性体の時間依存挙動は、対応原理により、ラプラス像空間では、弾性体のそれと同様に扱えるため、ラプラス像空間で釣り合い式をたてて解を求めた後、数値ラプラス逆変換を用いて、現空間における解を得た。しかし、複数のクリープ要因が含まれるときには、精度のよい数値ラプラス逆変換は困難なため、今回はこのクリープ要因すべてについて、それ自体のみが粘弾性体で、他の要因は弾性体であるときの数値ラプラス逆変換の解を最小二乗法を用いて求め、それらの解の線形一次結合として、クリープ要因すべてが粘弾性体である場合の解を求めた。シム調整解析では、ケーブル力の終局状態に着目し、例えばここで*i*番目のケーブルを Δl_i だけシム調整したときの*i*番目の終局状態のケーブル力の変化 Δp_i は、次式のようにマトリックス K_{ij} を用いて表せると仮定した。

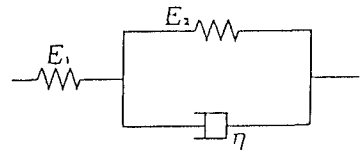


図1 粘弾性体-3要素モデル

$$\Delta p_i = \sum K_{ij} \Delta l_j \quad (1)$$

そこで、それぞれのケーブルに単位長の変位を与えたときのすべてケーブルについてケーブル力の変化の影響線を求めることにより、線形計画法の問題に帰着した。ここで、ケーブルのシム調整を行うにあたって、技術的、経済的な観点からは、シム調整を行うケーブルの本数は少ないほうが望ましいと考えられる。そこ

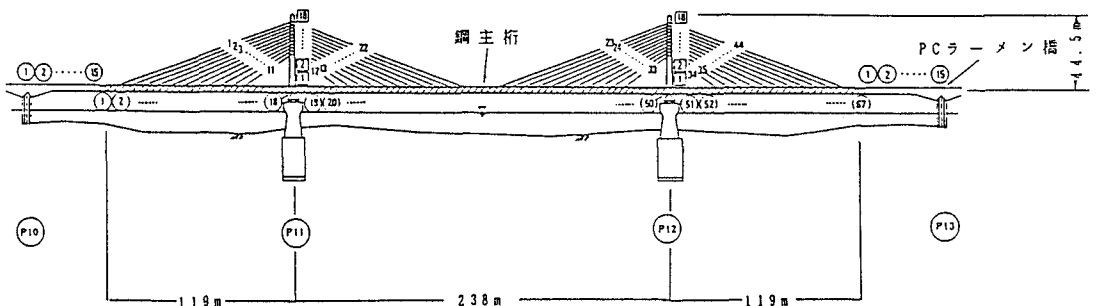


図2 モデル橋の外形

で、いろいろ本数を変えて、シム調整をするケーブルを選び、クリープ歪をなくすように収束計算を行った。

3. 数値解析結果及び考察

解析に用いた実物大ケーブル、地盤、コンクリートの同定値を表1に示す。ここで、Cable Type-1はケーブル本体がPWS、ソケットはZn鋳込みよりからなり、Cable Type-2はケーブル本体がPWSで、ソケットがNSソケットの組み合わせである。この二種類のケーブルの同定値を用いてモデル橋の解析を行った。シム調整による各々のケーブル力の終局状態の変化は、側径間(cable 1 ~ cable11)について単位量シム調整(1mm)当りのケーブル力(tonf)の変化量のマトリックス K_{ij} を、表2、表3に示す。この表からシム調整したケーブルでは、1.0~5.6(tonf)増え、その他のケーブルは、シム調整したケーブルの隣は、0.19~0.64(tonf)減り、全体的に、シム調整したケーブルから離れるほどケーブル力の減少量が少なくなるが、今回のモデル橋は高次不静定構造物なので下線を引いたところのように逆転するのがあることが分かる。また、表2と表3を比べると、対角成分は、表3の方が大きい。図3はcable type-1について一年後にシム調整をするとしての解析をしたときのcable5のケーブル力の経時挙動で、シム調整により、ケーブル力は弾性状態、終局状態ともに高くなる。

表1 ケーブル・地盤・コンクリートの同定値

	$E_1(\text{kgf/m}^2)$	$E_2(\text{kgf/m}^2)$	$\eta(\text{year} \cdot \text{kgf/m}^2)$
cable type-1	2.0×10^{10}	1.4×10^{11}	2.3×10^{13}
cable type-2	2.0×10^{10}	4.3×10^{11}	1.1×10^{13}
concrete	3.0×10^9	9.0×10^8	8.2×10^8
	$k_1(\text{kgf/m})$	$k_2(\text{kgf/m})$	$\eta(\text{year} \cdot \text{kgf/m})$
DATA1	6.5×10^8	1.1×10^9	1.7×10^8
DATA2	5.9×10^8	2.3×10^8	7.0×10^7

表2 Cable Type-1 の終局状態の K_{ij}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.02	-0.43	-0.36	-0.30	-0.22	-0.14	-0.09	-0.05	-0.02	0.00	0.00
2	-0.43	1.44	-0.44	-0.37	-0.29	-0.19	-0.14	-0.08	-0.04	-0.02	-0.00
3	-0.36	-0.44	1.69	-0.35	-0.30	-0.21	-0.16	-0.11	-0.07	-0.05	-0.04
4	-0.30	-0.37	-0.36	1.93	-0.31	-0.23	-0.19	-0.15	-0.10	-0.09	-0.10
5	-0.22	-0.28	-0.29	-0.31	2.03	-0.24	-0.21	-0.18	-0.13	-0.13	-0.15
6	-0.13	-0.19	-0.21	-0.23	-0.24	1.95	-0.21	-0.18	-0.14	-0.15	-0.19
7	-0.09	-0.13	-0.16	-0.19	-0.21	-0.21	2.08	-0.21	-0.17	-0.19	-0.25
8	-0.05	-0.08	-0.11	-0.18	-0.18	-0.18	-0.22	2.15	-0.19	-0.23	-0.31
9	-0.02	-0.04	-0.07	-0.10	-0.13	-0.14	-0.17	-0.19	2.10	-0.24	-0.34
10	0.00	-0.02	-0.05	-0.09	-0.13	-0.15	-0.19	-0.23	-0.24	2.91	-0.52
11	0.03	-0.00	-0.04	-0.09	-0.15	-0.19	-0.25	-0.31	-0.34	-0.52	5.00

表3 Cable Type-2 の終局状態の K_{ij}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.15	-0.49	-0.41	-0.33	-0.24	-0.15	-0.09	-0.04	-0.01	0.01	0.04
2	-0.49	1.63	-0.50	-0.42	-0.32	-0.21	-0.15	-0.09	-0.04	-0.02	-0.01
3	-0.41	-0.50	1.92	-0.41	-0.33	-0.23	-0.18	-0.12	-0.07	-0.05	-0.04
4	-0.33	-0.42	-0.41	2.20	-0.35	-0.26	-0.22	-0.17	-0.11	-0.10	-0.10
5	-0.24	-0.32	-0.33	-0.35	2.31	-0.27	-0.25	-0.20	-0.15	-0.14	-0.17
6	-0.14	-0.21	-0.23	-0.26	-0.27	2.21	-0.24	-0.21	-0.17	-0.17	-0.21
7	-0.09	-0.14	-0.18	-0.22	-0.25	-0.24	2.36	-0.25	-0.21	-0.23	-0.29
8	-0.04	-0.09	-0.12	-0.17	-0.20	-0.21	-0.25	2.43	-0.23	-0.27	-0.37
9	-0.01	-0.04	-0.07	-0.11	-0.15	-0.17	-0.21	-0.23	2.38	-0.29	-0.41
10	0.01	-0.02	-0.05	-0.10	-0.14	-0.17	-0.23	-0.27	-0.29	3.29	-0.64
11	0.04	-0.01	-0.04	-0.10	-0.16	-0.21	-0.29	-0.37	-0.41	-0.64	5.61

4. 結論

- (1) 実験の同定の結果からCable Type-2に比べて、Cable Type-1はリラクセーション挙動が大きいので、シム調整したケーブルのケーブル力の増加は、弾性解は変わらないが、終局状態では、cable type-2に比べて大きく減少する。
- (2) 今回の解析で、ケーブル力が、弾性解から終局解に収束するのはほぼ一年かかることが分かった。このモデル橋では、シム調整をする時期については、一年が一つの目安になると考えられる。

- (3) ケーブルのシム調整の決定に際し、シム調整によるケーブル力の終局解を用いるのは有用と考えられる。

参考文献：渡邊英一・亀井正博・若林保美・楠葉誠二：架設段階を考慮した斜張橋のリラクセーション予測、構造工学論文集、Vol.36A、1990年3月、pp.1103-1114

謝辞 実験に当たり神戸製鋼、新日本製鉄、三菱重工、日立造船に多大のお世話をいただきました。

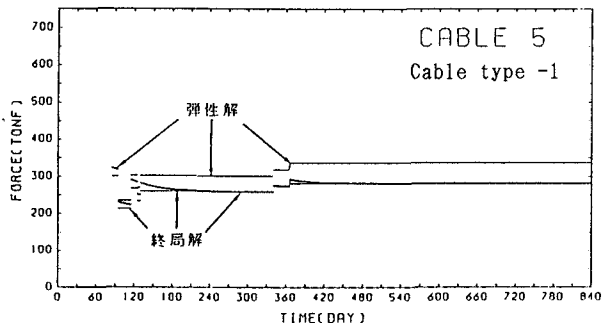


図3 cable 5 の経時挙動