

I-A302

高強度鋼ケーブルの長大吊橋への適用

摂南大学 学生員 濱野涼子  
ヒロセ（株） 黒川実紀

摂南大学 正会員 頭井 洋  
（株）神戸製鋼所 正会員 杉井謙一

1. まえがき

伊勢湾沖、紀淡海峡などを横断する長大吊橋が計画されているが、その実現のためには、経済性の追求とその達成のため、軽量・高強度の高機能構造部材の開発、および、新しい構造システムの追求とその施工技術の開発が必要である。

本研究では、特に高強度鋼ケーブルの採用による死荷重の大幅な低減化を中心に、活荷重や耐風安定性の面からも高強度鋼ケーブルの有用性を検討する。

2. 検討条件

試設計を行う吊橋に対して設定した主な基本条件を以下に示す。

- ・検討範囲は上部工に限定する。
- ・中央径間長 2500m、側径間長 1000m とする。
- ・基本風速は 46m/sec とする。
- ・主ケーブル本数は 2 本/橋、ケーブル破断強度 180、200、220kgf/mm<sup>2</sup>、サグ比は 1/10 とする。
- ・補剛桁は一部開床部を持つ二箱桁形式の箱桁で、桁高 4.000m と 7.000m の二種とする。
- ・幅員はケーブル中心間隔にあわせて 25.0m とした。

破断強度 180kgf/mm<sup>2</sup> のケーブルは、明石海峡大橋で初めて採用された。破断強度 200kgf/mm<sup>2</sup> のケーブルまでは、ほぼ量産技術の目処がたっている。破断強度 220kgf/mm<sup>2</sup> のケーブルについては、量産でなければ製作可能であり、今後の技術の進展に期待して、本研究の対象に含めた。

その他の条件は明石海峡大橋や本州四国道路公団の設計基準を参考にした。

3. 主ケーブル断面の検討

支間が 2000m を越えるような長大吊橋では、死荷重応力が全応力の 90% 以上にもなる。そのため、主ケーブルに高強度鋼ケーブルを適用し、ケーブル断面をどこまで低減できるかを検討する。

中央径間長を 2000m～3000m として死荷重や等分布活荷重が作用したときの静的強度のみを考慮して、主ケーブルの必要断面積を求める。

主ケーブルの直径および純断面積と中央径間長との関係をそれぞれ図 1 と図 2 に示した。主ケーブルに高強度鋼ケーブルを適用すると主ケーブル重量を大きく低減できることがわかる。ケーブルのスキューズイングの面から主ケーブル直径は 1.2m 以下でなければならない。補剛桁重量が 15.8tf/m の場合、中央径間長 3000m 級に対してもケーブル直径は 1.1m 程度となる。補剛

桁重量が 24.0tf/m の場合、中央径間長 3000m 級に対して破断強度を 200kgf/mm<sup>2</sup> 以上にすれば、ケーブル直径を 1.20m にできる。

以上のように、補剛桁重量を抑え、ケーブルを高強度化することによる死荷重の低減効果は、非常に大きいといえる。

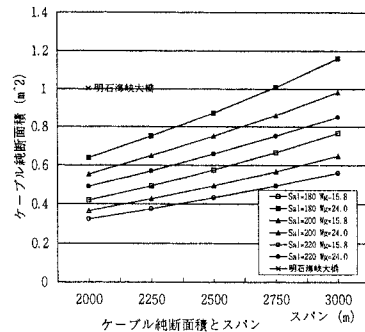


図 1 主ケーブルの純断面積と中央径間長の関係

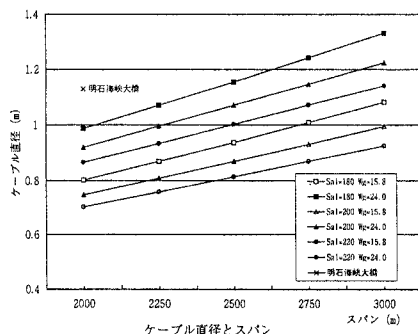


図 2 主ケーブル直径と中央径間長の関係

4. 吊橋の影響線解析

撓度理論に基づいて影響線解析をする。

長大吊橋では、死荷重によるケーブル張力が支配的で、活荷重によるケーブル張力の増分  $H_p$  は死荷重による張力  $H_d$  に比べて十分に小さいので、水平張力を  $H_{max}=H_d$  とした場合のみで十分な解が得られ、ここではその条件で影響線解析を行った。

側径間と中央径間どちらも活荷重により生じる補剛桁の最大応力は許容応力を十分に下回っていた。したがって、活荷重は補剛桁断面の決定に影響しないといえる。

キーワード：主ケーブル、長大吊橋、高強度鋼ケーブル、死荷重の低減化、耐風安定性  
連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 TEL 0720-39-9119

## 5. 静的風荷重に対する照査

参考文献 2)に基づき、補剛桁とケーブル間の荷重分配に関する連立方程式を解いて、ケーブルや桁の横たわみおよび桁の曲げモーメントを求めた。中央径間のみを考え、対称性を利用したため、中央径間において、塔から支間中央の 1250m 位置までを解析対象としている。桁高 4.000m でケーブル強度  $220\text{kgf/mm}^2$ 、板厚 16mm のときの補剛桁の曲げモーメント(M)、ケーブルおよび補剛桁の水平変位(U および V)に関する計算結果を図 3 に示す。

桁高 4.000m と 7.000m のとき補剛桁の曲げ応力はそれぞれ  $413\text{kgf/cm}^2$ 、 $1046\text{kgf/cm}^2$  になり、許容応力に対し十分に余裕があるという結果が得られた。このことから、静的風荷重は断面の決定に影響しないことが確認できた。これは偏平箱桁を採用したため桁高が小さく投影面積が小さくなり、また抗力係数が 0.6 と小さいことにより補剛桁に与えられる風荷重が小さくなったことが大きな原因と考えられる。

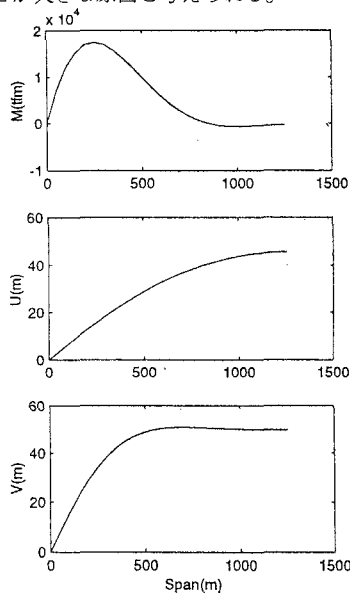


図3 静的風荷重に対する解析結果

## 6. 動的風荷重による照査

連成フラッターの正確な検討には、風洞実験や 3 次元の立体モデルによる複素固有値解析が必要となる。ここでは簡易検討としてフラッター限界風速を求めるために Selberg 式を用いて計算した。二箱桁形式を採用していることから、補正係数を  $k=1.3$  とする。

フラッター限界風速を設計風速より大きくするために必要な補剛桁板厚の検討を行う。ケーブル破断強度は最も強度の高い  $220\text{kgf/mm}^2$  とする。結果を表 1 に示す。補剛桁断面は静的風荷重や活荷重によって決定されるのではなく、動的風荷重によって決定されるこ

とがわかる。耐風安定性を確保するには、補剛桁の桁高をある程度高くする必要のあることもわかる。

表 1 動的風荷重に対する照査結果

|            |              |        |        |
|------------|--------------|--------|--------|
| 桁高         | m            | 4.000  | 7.000  |
| U.F.L.F 板厚 | mm           | 61     | 27     |
| 補剛桁断面積     | $\text{m}^2$ | 3.36   | 1.86   |
| ケーブル直径     | m            | 1.077  | 0.862  |
| ケーブル死荷重    | tf/m         | 11.92  | 7.64   |
| 全死荷重       | tf/m         | 42.5   | 26.3   |
| 曲げ振動数      | Hz           | 0.0628 | 0.0635 |
| ねじり振動数     | Hz           | 0.172  | 0.215  |
| フラッター限界風速  | m/sec        | 80.2   | 81.4   |

## 7. あとがき

検討結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 高強度鋼ケーブルを用いることによって、支間 3000m 級でも片側シングルケーブル化が可能である。
- 2) 高強度鋼ケーブルを用いることによる死荷重の低減効果は非常に大きい。特に現在は実現できていない  $220\text{kgf/mm}^2$  級の高強度鋼ケーブルでは明石海峡大橋の  $180\text{kgf/mm}^2$  に比べ 3 割もの死荷重の低減が期待できる。
- 3) 活荷重の影響線載荷および静的風荷重に対する補剛桁の応力照査では、 $220\text{kgf/mm}^2$  級の高強度鋼ケーブルを用いたケーブルを使用した場合でも、桁に生じる最大応力は許容応力に対し十分に余裕があり、補剛桁断面の決定には影響しない。
- 4) フラッター限界風速を確保するには、桁高 4.000m の場合では補剛桁の必要板厚が 50mm 以上と相当大きくなる。これに対し、桁高 7.000m の場合必要板厚は 30mm 程度で十分な剛性を有する。

本研究により、主ケーブルの高強度化の効果が大きいことが確認できた。今後の課題として、今回検討したような二箱桁中央オープングレーティング断面の採用により桁重量を増やさずに、動的な耐風安定性を確保しうるか、風洞実験等により検討していくことが望まれる。

本研究は、高機能の鋼部材の橋梁への活用法に関する研究会(会長：中井博 大阪市立大学教授)の第 4WG の活動として行ったものである。貴重な討議をいただいた中井会長をはじめ研究会の方々、特に、第 4WG の泉谷氏(中央復建)、黒岩氏(三菱重工)に感謝します。

## 参考文献

- [1] 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説、1989.4
- [2] 平井教、伊藤学、岡内功、倉西茂、西脇威夫；鋼橋Ⅲ、pp382～495、1967.9