

I-250

高強度鋼線を用いた吊橋ケーブルの設計

本州四国連絡橋公団 飯島 武明
 // 辰巳 正明
 // 森山 彰

1. まえがき

本州四国連絡橋はもとより、近年の吊橋ケーブルには引張強さ160kgf/mm²級(160~180kgf/mm²)の亜鉛めっき鋼線が用いられている。その引張強さは、George Washington 橋(1931年完成)で155kgf/mm²級の鋼線が用いられて以来、この半世紀ほとんど進歩を見ていない(図-1)。この160kgf/mm²級鋼線の本四連絡橋における使用実績(表-1)は、約7万トンにも及び、これは、製造・加工が容易であること、安定した品質が得られる成分系であること、さらに、より高強度の鋼線の需要がなかったことなどによる。

一方、本州四国連絡橋のケーブル用鋼線の許容応力度は、斜張橋も含めて64kgf/mm²で設計を行っている。参考までに諸外国では60~70kgf/mm²程度の許容応力度が用いられている。

2. 高強度亜鉛めっき鋼線の開発

明石海峡大橋に代表されるように、近年橋梁の長大化が進み、それに伴い死荷重軽減のために材料の高強度化も進んだ。ケーブル材料についても高強度化のための開発研究を実施し、その結果JIS G 3502に規定するSWRS82B材をベースにSi成分を約1%添加した低合金鋼として引張強さ180kgf/mm²級(180~200kgf/mm²)の高強度亜鉛めっき鋼線を開発した。亜鉛めっき鋼線の製造工程の概略とその製造各工程における鋼線の強度推移を図-2に模式的に示すが、Si成分は、熱処理を施した鋼線材そのものの強度を増すとともに、亜鉛めっきを施す際の熱による鋼線の強度低下を抑制する効果をもつ。なお、Si系低合金鋼は他の分野ではあるが引張強さで200kgf/mm²前後の鋼線として実績もある。

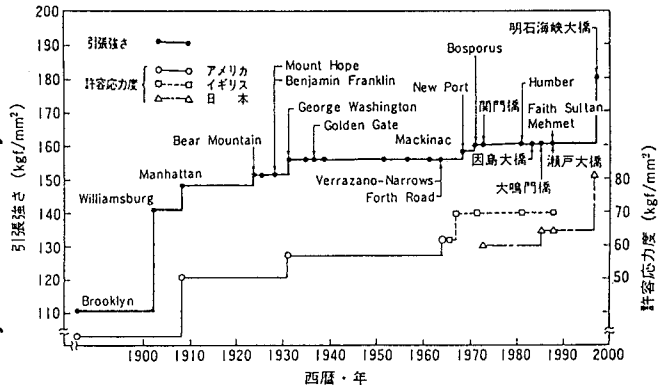


図-1 吊橋ケーブル用鋼線の強度推移

表-1 本四連絡橋吊橋ケーブル用鋼線の製造実績

項 目	因島大橋	大鳴門橋	北瀬瀬戸大橋	瀬戸大橋	下津井瀬戸大橋	大島大橋
製造数量(t)	約5,200	約12,000	約16,500	約20,000	約13,000	約2,000
規格値(kgf/mm ²)	160~180	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
n (本)	11,224	22,722	34,330	38,470	26,674	4,428
$\bar{x}$ (kgf/mm ²)	167.5	168.6	167.8	168.7	168.7	168.3
S (kgf/mm ²)	2.27	2.3	2.2	1.96	1.7	1.64
規格値(kgf/mm ²)	118以上	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
n (本)	726	1,422	2,052	2,324	1,514	268
$\bar{x}$ (kgf/mm ²)	133.8	134.8	135.3	136.5	135.4	136.7
S (kgf/mm ²)	1.533	1.9	1.9	1.53	1.6	1.82
規格値(mm)	5.17±0.06	5.37±0.06	5.18±0.06	5.12±0.06	5.37±0.06	5.10±0.06
n (本)	11,224	22,722	34,330	38,470	26,674	4,428
$\bar{x}$ (mm)	5.176	5.374	5.186	5.130	5.381	5.116
S (mm)	0.0125	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011

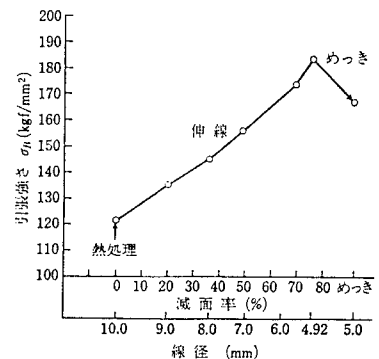
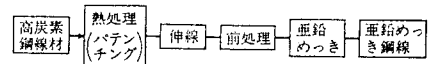


図-2 鋼線製造工程における強度推移

今回開発した高強度鋼線は、引張、伸び、ねじり等の基礎特性はもちろん、疲労、クリープ、遅れ破壊、応力腐食割れ、腐食、低温の諸特性も、従来鋼線と同等以上の優れた特性を有し、また、吊橋ケーブルとして用いる際の側圧、曲げ、ソケット定着、現場継手の各項目とも十分な特性を有していた。さらに量産時の品質、製造性についても実生産ラインにおいて試作を行い、良好であることを確認した。また、高強度鋼線の製造が従来と同一管理条件であることから、化学成分の変動も従来鋼線の製造実績(表-2)と同等と推定される。

そこで、本四公団では180kgf/mm²級の高強度亜鉛めつき鋼線は、橋梁ケーブル用鋼線として実用可能であると判断をした。

3. 安全率の見直し

本州四国連絡橋吊橋ケーブル用鋼線の安全率は、土木学会での審議結果をもとに2.5を採用し、許容応力度64kgf/mm²で設計を実施している。しかし、明石海峡大橋をはじめ今後の長大吊橋のケーブル設計では、以下の点を踏まえた安全率の設定が可能と考えた。

- ①ケーブルは他の構造要素(塔、補剛桁)の部材力に比較して死荷重の占める割合が大きく、活荷重に対する余裕が高い。特に、明石海峡大橋においては顕著である。
- ②既存の吊橋に用いた鋼線の製造実績から判断してケーブル用鋼線の品質は信頼性が高い。
- ③ケーブル全体の耐力に及ぼす二次応力の影響は僅少である。
- ④施工および維持管理に関しては、今までの実績を踏まえた管理が可能である。

そこで、明石海峡大橋の主ケーブルを対象にその安全性に関する検討を実施し、十分な安全性が確保できるとの判断から安全率2.2を採用することとした。

4. まとめ

明石海峡大橋ケーブルの設計は、高強度亜鉛めつき鋼線の採用および安全率の見直しにより、許容応力度82kgf/mm²(引張強さ/安全率=180/2.2)で設計を行うこととする。これにより、明石海峡大橋のケーブルは、南備讃瀬戸大橋で実績のある100cm強の直径でシングルケーブルとしての施工が可能となる。

なお、高強度亜鉛めつき鋼線の調査研究、許容応力度の見直し検討は、土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会(奥村敏恵委員長)、ケーブル設計法に関する整理検討委員会(田島二郎委員長)及び限界状態設計法による長大吊橋の検討委員会(藤原稔委員長)の指導をうけて実施したものである。

表-2 化学成分のばらつき実績

(wt. %)

	C	Si	Mn
n	1082 ヒート		
X	0.784	0.232	0.761
X Min	0.76	0.18	0.64
X Max	0.80	0.28	0.84
R	0.04	0.10	0.20

(本四連絡橋吊橋6橋)