

超長大橋へのFRPの適用による変形特性に関する考察

八戸工業大学大学院 ○学生員 坂本 嘉紀

八戸工業大学 正会員 長谷川 明

八戸工業大学 フェロー 塩井 幸武

1. はじめに

現在長大橋のケーブルには、鋼線が使用材料の大半を占めている。しかし、鋼線には、重量の増大、および腐食の発生という欠点があり、これらが、橋梁の長大化と耐用年数とに課題を残している。そこで、近年、鋼ケーブルに比べ高耐食性で、軽量かつ引張強度が高い、新素材と呼ばれる各種の繊維が開発されている。現在構想中の海峡道路プロジェクトでは、明石海峡大橋を上回る大規模な吊橋などの超長大橋案がある。また、著者らは、津軽海峡大橋として、図1. 1に示す斜張橋と吊橋を組み合わせたWtypeを計画している。複合橋である、Wtype は、吊橋に比べて、水平変位、鉛直変位とも優れている。これらに新素材を巧みに用いれば、この計画の実現が促進される可能性が大きいと考えられる。

そこで、本文では、炭素繊維ケーブルの中でも、最も引張強度・弾性係数が大きいCFRPを橋梁用構造部材として扱う場合にWtypeにおける、各ポイントでの変位特性(主塔の水平変位および径間鉛直変位・たわみ特性)の変化を把握する目的で、数値解析を行ったのでこれを報告する。なお、耐風安定性、温度変化の影響・施工性などの検討は行っていない。

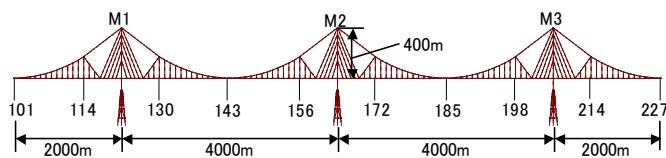


図 1.1 津軽海峡のモデルおよび計測ポイント

表 2.1 鉛直変位 (単位: m)

Point	Overall load							
	Steel	All FRP	type A	type B	type C	type D	type E	type F
101	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
114	-0.159	-0.275	-0.251	-0.187	-0.164	-0.218	-0.177	-0.178
130	-1.430	-1.716	-1.692	-1.646	-1.640	-1.471	-1.433	-1.449
143	-5.228	-6.407	-6.407	-6.442	-6.451	-5.193	-5.221	-5.223
156	-0.836	-1.040	-1.016	-0.961	-0.946	-0.887	-0.849	-0.855
172	-0.836	-1.040	-1.016	-0.961	-0.946	-0.887	-0.849	-0.855
185	-5.228	-6.407	-6.407	-6.442	-6.451	-5.193	-5.221	-5.223
198	-1.430	-1.716	-1.692	-1.646	-1.640	-1.471	-1.433	-1.449
214	-0.159	-0.275	-0.251	-0.187	-0.164	-0.218	-0.177	-0.178
227	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rate 143	-	123%	123%	123%	123%	99%	100%	100%
Rate 185	-	123%	123%	123%	123%	99%	100%	100%

表 2.2 最大張力と総重量 (単位: tf)

Tension	Steel	FRP	%	typeA	%	typeB	%	typeC	%	typeD	%	typeE	%	typeF	%
列間ケーブル	754962	626618	83	626618	83	626618	83	754962	100	754962	100	747056	99	747056	99
径間ケーブル	92828	92552	100	92552	100	92371	100	92339	99	93037	100	92552	100	92828	100
最大張力	847780	719170	85	719170	85	718989	85	718987	85	847999	100	847814	100	839948	99
Weight	Steel	FRP	%	typeA	%	typeB	%	typeC	%	typeD	%	typeE	%	typeF	%
主ケーブル	7698	1572	20	1572	20	1572	20	1572	20	7698	100	7698	100	7698	100
ハンガーケーブル	9756	2102	22	9756	100	9756	100	9756	100	9756	100	9756	100	2102	22
斜張ケーブル	220	54	24	54	24	220	100	220	100	54	24	220	100	220	100
斜めケーブル	113	23	20	23	20	23	20	113	100	113	100	23	20	113	100
桁	鋼桁	464640	-	464640	-	464640	-	464640	-	464640	-	464640	-	464640	-
	FRP補強	788160	-	788160	-	788160	-	788160	-	788160	-	788160	-	788160	-
総重量	1270587	1255551	99	1264205	100	1264371	100	1264461	100	1270421	100	1270497	100	1262933	99

表 2.3 ケーブルパターン

モデル	ハンガーケーブル	斜張ケーブル	斜めケーブル	主ケーブル
Steel				
All FRP				
type A				
type B				
type C				
type D				
type E				
type F				

※  鋼・  Steel を使用

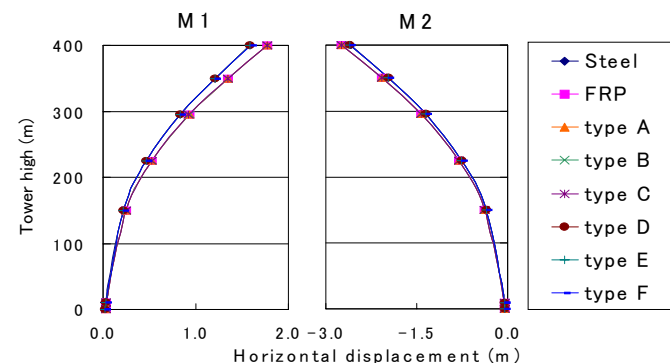


図 2.1 M1・M2 の水平変位 (単位: m)

キーワード：超長大橋 CFRP FRP 最適化 新々素材

連絡 先：青森県八戸市大字妙字大開 88-1 TEL：0178 - 25 - 8075 FAX：0178 - 25 - 0722

3. 最適化

FRP ケーブルを使用することで、コストが鋼ケーブルに比べ、大幅に増大する。そこで、よりコストの低減を図るために、ケーブルの線材本数をどのくらい少なくできるかを調べる必要がある。そこで、鋼の引張強さが FRP より 20% 増えていることから、FRP の線材本数を 20% 低減した場合と、最適化を行った場合の、ケーブルの材料特性について調べる。

解析の結果、線材本数と有効断面積は比例しているため、表 3.1 より、鋼に対し、20%down で 83% に低減され、最適化を行った場合で 60% に低減された。ケーブル重量は、FRP で 20%、20%down では 17%、最適化を行った場合で 12% に低減された。このことから、最適化を行うことにより、ケーブル本数・重量は大幅に低減されるという結果を得た。

4. 新々素材の検討

ケーブルを鋼から FRP に替えることにより、各種変位が増加したのは、ヤング率の低下が原因と考えられる。そこで、FRP のヤング率 1.6×10^7 (tf/m²) を鋼と同じ値の 2.0×10^7 (tf/m²) とした高強度の FRP ケーブルを新々素材として開発されることを想定し、以下に示すモデルについて、剛性効果を検討する。

Initial: 従来の FRP を用いた場合。

I : 新々素材を用いた場合。

II : 橋の剛性に大きな影響を与えている主ケーブルのみに FRP を用いた場合。

III : FRP の引張強度が鋼より 20% 増していることから、線材本数を 20% 低減した場合。

IV : コストの低減や重量の軽減のために許容応力に近づけ、最適化を図った場合。

解析の結果、ヤング率を向上させた場合、全てのモデルにおいて以前のヤング率 (1.6×10^7 tf/m²) と比較すると、最大張力には表 4.3 に示すようにあまり変化が見られないのに対し、鉛直変位・水平変位は減少し、表 4.1・4.2 から最大で 23% の低減となった。これらのことから、ヤング率を向上させることにより、従来の FRP より優れた剛性効果を得ることができる。

5. まとめ・考察

ケーブル重量について、鋼から FRP にすることによって約 80% 低減された。また、FRP 主ケーブルの場合、最大張力が鋼製主ケーブルの場合の約 80% に低減されたことからアンカレッジ・主塔および橋脚などの材料費がかなり低減され、経済性が高められる可能性があることが確認できた。また、最適化を行うことで、ケーブル本数・重量が大幅に低減することが分かった。しかし、FRP ケーブルの場合、鋼製ケーブルに比べ鉛直・水平変位が増加した。これはケーブルの剛性によるものだと考えられる。超長大橋の実現のためには、新しい材料の開発などが期待される。

表 3.1 ケーブルの材料特性

		Steel	FRP	20%down	最適化
メインケーブル	線材本数	58800		48800	35300
	有効断面積 (m ²)	1.155		0.958	0.693
	死荷重 (tf/m)	9.044	1.848	1.533	1.109
	許容値 (tf)	109680	105300	87370	58277
斜張ケーブル	線材本数	3720		3088	2240
	有効断面積 (m ²)	0.073		0.061	0.044
	死荷重 (tf/m)	0.572	0.117	0.098	0.07
	許容値 (tf)	5551		4636	3344
ハンガーケーブル	線材本数	2240		1860	1350
	有効断面積 (m ²)	0.044		0.037	0.027
	死荷重 (tf/m)	0.344	0.070	0.059	0.043
	許容値 (tf)	2388	2507	2109	1539

表 4.1 全載荷による鉛直変位 (単位: m)

Pointとヤング率		Initial	I	%	II	%	III	%	IV	%
143	2.0×10^7	-6.407	-5.348	84	-5.383	99	-6.352	99	-8.208	128
	1.6×10^7		-6.407	100	-6.451	101	-7.547	118	-9.680	151
185	2.0×10^7	-6.407	-5.348	84	-5.383	99	-6.352	99	-8.208	128
	1.6×10^7		-6.407	100	-6.451	101	-7.547	118	-9.680	151

表 4.2 全載荷における M1 の水平変位 (m)

Tower high	Initial	I	(%)	II	(%)	III	(%)	IV	(%)
400	0.460	0.400	87	0.400	87	0.446	97	0.539	117
350	0.347	0.302	87	0.302	87	0.337	97	0.407	117
295	0.238	0.207	87	0.207	87	0.231	97	0.279	117
225	0.133	0.115	86	0.115	86	0.129	97	0.156	117
150	0.062	0.054	87	0.054	87	0.060	97	0.072	116
10	0.007	0.006	86	0.006	86	0.006	86	0.008	114
0	0.006	0.006	100	0.006	100	0.006	100	0.008	133

表 4.3 最大張力とケーブル重量 (単位: tf)

Tensionとヤング率		Initial	I	%	II	%	III	%	IV	%
最大張力	2.0×10^7	71917.0	72136	100	72119	100	64878	90	62245	87
	1.6×10^7		71917.0	100	71896	100	64668	90	62003	86

Weight	Initial	I	%	II	%	III	%	IV	%
主ケーブル	157.2	157.2	100	157.2	100	130.5	83	94.4	60
ハンガーケーブル	210.2	210.2	100	975.6	464	177.0	84	129.0	61
斜張ケーブル	5.4	5.4	100	22.0	407	4.5	83	3.2	59
斜めケーブル	2.3	2.3	100	11.3	491	1.9	83	1.4	61
ケーブル重量	375.1	375.1	100	1166.1	311	313.9	84	228.0	61