

I - 17

超長大橋へのFRPの適用効果に関する数値解析

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

最近、鋼ケーブルに比べ、軽量かつ引張強度が高い、炭素繊維、およびアラミド繊維など、いわゆる新素材と呼ばれる各種の繊維が開発されている。特に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、鋼橋の長大化と耐用年数とに課題を残している。これらの新素材を鋼線の代替品として用いれば、長大橋のスパン長や耐用年数は、飛躍的に向上することが期待される。現在構想中の海峡道路プロジェクトには、中央径間が 2000～2500m 規模の長大橋案があり、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ものだと考えられる。

そこで、本文では炭素繊維ケーブル (FRP) を橋梁用構造部材として扱う場合に各ポイントでの変位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。

2. 橋梁形式の検討

津軽海峡大橋は、斜張橋と吊橋を組み合わせた複合橋を計画しているが、津軽海峡大橋にとって、どの橋梁形式が適当であるか図2. 1に示す3タイプのモデルを設定して、この3つのモデルが及ぼす変位特性(主塔の水平変位、たわみ特性)について、有限要素法 (TDAPⅢ) を用いて解析し、比較・検討する。

解析の結果、3タイプのモデルに同じ荷重をかけたとき、図2. 2より Suspension type の変位は、あまりにも大きすぎるため、Suspension type は津軽海峡大橋の橋梁形式として不適当であるという結論に達した。また、同じ種類の複合橋である、W type と、M type であるが、W type の方が、水平変位、たわみとも優れているという結果を得た。このことから、サブケーブルが入ることによって、水平変位・たわみとも、変位を小さく抑えることができる。よって、W type が適当であるという結論を得た。

3. 各ケーブルの重要性

W type の各ケーブルを鋼からFRPに替えることにより、橋の剛性に大きな影響を与えるケーブルを調査し、検討する。ケーブルパターンは次の8ケースとした。

- ① 鋼
- ② FRP
- ③ type A : 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
- ④ type B : 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
- ⑤ type C : 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
- ⑥ type D : 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
- ⑦ type E : 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
- ⑧ type F : (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

※) 内はFRPを使用

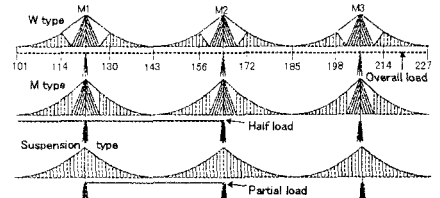


図2.1 3タイプのモデルと計測ポイント

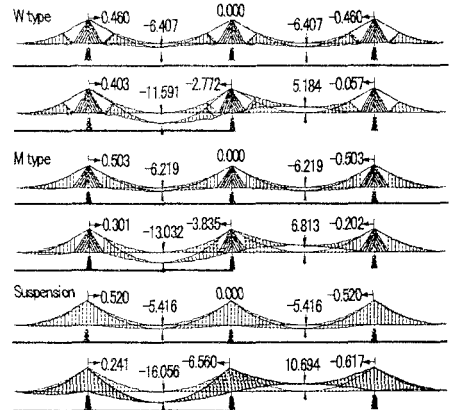


図2.2 各モデルの解析結果

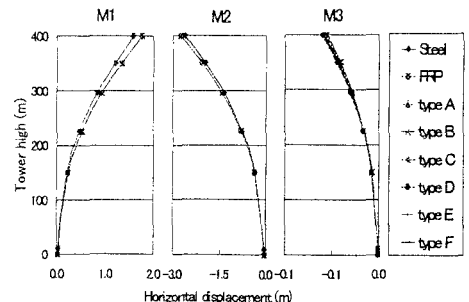


図3.1 水平変位(Partial load)

表 3.1 各載荷による主要ポイントの鉛直変位(単位: m)

	Overall load								Half load								Partial load							
Point	Steel	FRP	typeA	typeB	typeC	typeD	typeE	typeF	Steel	FRP	typeA	typeB	typeC	typeD	typeE	typeF	Steel	FRP	typeA	typeB	typeC	typeD	typeE	typeF
101	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	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	-0.165	-0.302	-0.277	-0.210	-0.179	-0.229	-0.193	-0.184	3.371	3.702	3.702	3.683	3.649	3.389	3.404	3.384
130	-1.430	-1.716	-1.692	-1.646	-1.640	-1.471	-1.433	-1.449	-1.763	-2.045	-2.020	-1.952	-1.914	-1.829	-1.801	-1.780	-4.163	-4.671	-4.646	-4.596	-4.500	-4.221	-4.189	-4.194
143	-5.228	-6.407	-6.407	-6.442	-6.451	-5.193	-5.221	-5.233	-10.147	-11.591	-11.591	-11.621	-11.628	-10.118	-10.143	-10.169	-12.421	-14.112	-14.112	-14.133	-14.133	-12.401	-12.423	-12.454
156	-0.836	-1.040	-1.016	-0.961	-0.946	-0.887	-0.849	-0.855	-5.162	-5.757	-5.734	-5.691	-5.690	-5.294	-5.258	-5.292	-5.265	-5.791	-5.767	-5.512	-5.692	-5.335	-5.303	-5.320
172	-0.836	-1.040	-1.016	-0.961	-0.946	-0.887	-0.849	-0.855	4.423	4.717	4.718	4.731	4.744	4.407	4.408	4.664	4.320	4.605	4.605	4.617	4.631	4.307	4.307	4.335
185	-5.228	-6.407	-6.407	-6.442	-6.451	-5.193	-5.221	-5.233	4.920	5.184	5.184	5.179	5.177	4.925	4.921	4.935	4.878	5.144	5.144	5.142	5.144	4.579	4.576	4.694
198	-1.430	-1.716	-1.692	-1.646	-1.640	-1.471	-1.433	-1.449	0.331	0.329	0.328	0.306	0.274	0.357	0.368	0.334	0.348	0.348	0.327	0.295	0.371	0.382	0.349	
214	-0.159	-0.275	-0.251	-0.187	-0.164	-0.218	-0.177	-0.178	0.006	0.027	0.026	0.023	0.015	0.011	0.016	0.006	0.007	0.011	0.011	0.006	0.002	-0.001	0.004	-0.007
227	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Rata 143	-	123%	123%	123%	123%	99%	100%	100%	-	114%	114%	115%	115%	100%	100%	100%	-	114%	114%	114%	114%	100%	100%	100%
Rata 185	-	123%	123%	123%	123%	99%	100%	100%	-	105%	105%	105%	105%	100%	100%	100%	-	105%	105%	105%	105%	100%	100%	100%

解析の結果、表 3.1 より type D～F では、鉛直変位・水平変位及び張力ともに鋼に対してあまり変化が見られなかった。しかし、FRP・type A～C では、主ケーブルに FRP を用いることによって、各種変位が増大しているが張力は 15% の低減となった。また総重量では表 3. 2 に示すように、全てのケーブルパターンにおいて桁の重量が大きな割合を占めていたが、ケーブル重量で比較すると、最大 80% の低減となった。これらのことから、ケーブルを鋼から FRP に替えることにより、橋の剛性に大きな影響を与えているのは主ケーブルであると分かった。

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. 2 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 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

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。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 3.2 最大張力と総重量(単位: tf)

Tension	Steel	FRP	%	typeA	%	typeB	%	typeC	%	typeD	%	typeE	%	typeF	%
主ケーブル張力	75496.2	62661.8	83	62661.8	83	62661.8	83	62661.8	83	75496.2	100	75496.2	100	74705.6	99
吊り索張力	9262.8	9256.2	100	9256.2	100	9256.2	100	9237.1	100	9233.9	99	9303.7	100	9285.5	100
最大張力	84779.0	71917.0	85	71917.0	85	71889.9	85	71885.7	85	84799.9	100	84781.4	100	83948.8	99

Weight	Steel	FRP	%	typeA	%	typeB	%	typeC	%	typeD	%	typeE	%	typeF	%
主ケーブル	769.8	157.2	20	157.2	20	157.2	20	157.2	20	769.8	100	769.8	100	769.8	100
ハンガーケーブル	975.6	210.2	22	975.6	100	975.6	100	975.6	100	975.6	100	975.6	100	210.2	22
斜張ケーブル	22.0	5.4	24	5.4	24	22.0	100	22.0	100	5.4	24	22.0	100	22.0	100
斜めケーブル	11.3	2.3	20	2.3	20	2.3	20	11.3	100	11.3	100	2.3	20	11.3	100
桁	46464.0	46464.0	-	46464.0	-	46464.0	-	46464.0	-	46464.0	-	46464.0	-	46464.0	-
PC 橋脚	78816.0	78816.0	-	78816.0	-	78816.0	-	78816.0	-	78816.0	-	78816.0	-	78816.0	-
総重量	127058.7	125655.1	99	126420.5	100	126437.1	100	126446.1	100	127042.1	100	127048.7	100	126293.3	99

表 4.1 全載荷による鉛直変位(単位: m)

Point	Initial	I	%	II	%	III	%	IV	%
143	2.0×10^7	-5.384	84	-5.383	84	-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	-5.384	84	-5.383	84	-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 最大張力とケーブル重量(単位: tf)

Tension	Initial	I	%	II	%	III	%	IV	%
最大張力	2.0×10^7	72135.7	100	72119.3	100	64877.6	90	62244.9	87
	1.6×10^7	71917.0	100	71895.7	100	64667.5	90	62002.5	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