

I - A295

ハイブリッドケーブルを用いた長大吊橋のケーブルバンド近傍の応力特性

大阪大学大学院¹⁾ 学生員 三好崇夫 建設企画コンサルタント²⁾ 正 員 武 伸明
 大阪大学大学院 フェロー 西村宣男 建設企画コンサルタント 正 員 東野忠雄

1. はじめに

第二国土軸に代表される海峡横断プロジェクトでは、経済性にも優れた構造形式の吊橋が要求されている。このため、ケーブルに重量比強度の優れた炭素繊維ケーブルを適用した形式を提案した¹⁾。炭素繊維ケーブルは鋼ケーブルと比較して異方性の高い材料であり、せん断強度が低いといった特性がある。従って、ケーブルバンド部のような応力集中箇所が弱点となる。そこで、炭素繊維材の周りに鋼線を配置して、炭素繊維材の低いせん断強度、鋼材の大きな単位重量という互いの弱点を補い、炭素繊維材の軽量性と鋼材の高いせん断強度という両者の長所を生かすことを目的としたハイブリッドケーブルを長大吊橋に導入し、吊橋立体有限変位解析による試設計で諸元を求め、FEMによる数値解析を行ってケーブルバンド近傍のケーブルに生じる作用応力を定量的に把握し考察する。

2. 解析モデルと解析手法

解析モデルは、等方性、異方性各々の力学的挙動を把握するため、全断面にそれぞれ鋼ケーブル（type-s）、炭素繊維ケーブル（type-sc）を用いたモデルとハイブリッドケーブル（type-H）を用いたモデルとした。type-Hについては、断面構成の影響を調べるため、鋼材と炭素繊維材の断面積比を1:1、1:2、1:3の3モデルを設定した（図-1）。解析モデルの寸法及び作用力は、死+活荷重作用状態を考慮し吊橋立体有限変位解析で求めたケーブル形状に等価になるように設定した（表-1）。ケーブル断面は真円と見なし、軸対称性を利用した1/2モデルとする（図-2）。炭素繊維ケーブルは高強度・高弾性の特性を持つPAN系の材料を対象に機械的性質を設定した（表-2）。

ケーブルの曲線的な変形に対応できること、ケーブルバンド部近傍の二次応力とせん断応力などの局所的な応力を精度良く評価できることから、20節点アイソパラメトリック要素を用いたFEM解析を行うことにした。また、炭素繊維材は明確な降伏域の無い弾性材料であることを考慮して線形弾性解析を行った。

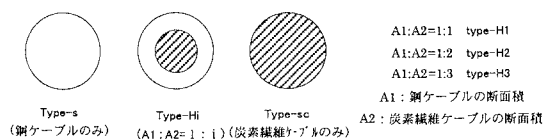


図-1 解析ケースとケーブルの断面内の配置

表-1 解析モデルの寸法と荷重

解析ケース	type-s	type-H1	type-H2	type-H3	type-sc
断面構成	鋼ケーブル	ハイブリッドケーブル			炭素繊維ケーブル
断面積比(A1/A2)	—	1.0	0.5	0.33	0
炭素繊維ケーブル半径	m	0.54	0.61	0.65	1.45
鋼ケーブル厚	m	0.22	0.14	0.1	0
ケーブル長L1(L2)	m	17.917	17.919	17.92	17.923
バンド長LB	m	4	4	4	4
ケーブル直径d	m	1.56	1.52	1.5	1.49
ケーブルバンド厚t	m	0.05	0.05	0.05	0.05
ハンガー荷重P	tf	555	534	518	492
ケーブル張力N	tf	165251	133926	122054	117071
					101151

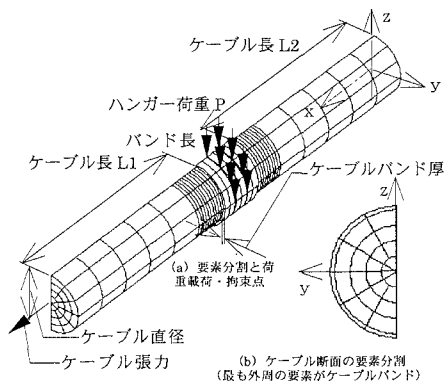


図-2 解析モデル

表-2 炭素繊維ケーブル及び鋼ケーブルの機械的性質

ケーブル使用材料			鋼ケーブル	炭素繊維ケーブル
ケーブル	繊維方向	kN/mm ²	206	147
	繊維直交方向	kN/mm ²	206	8.6
ポアソン比	繊維方向		0.3	0.32
	繊維直交方向		0.3	0.019
引張強度		N/mm ²	2160	2060
単位体積重量		kN/m ³	76.9	15.7

キーワード：吊橋、複合材料、異方性材料、せん断応力

連絡先 1)：〒565-0871 吹田市山田丘 2-1

2)：〒550-0004 大阪市西区靱本町 3-5-25

TEL06-6879-7600 FAX06-6879-7601

TEL06-6441-4617 FAX06-6448-3915

3. 解析結果と考察

ハイブリッドケーブルのバンド近傍のケーブル軸方向に沿った鉛直断面における応力分布を、type-H2を対象にして図-3に示す。(a)図より、ハンガー荷重によってケーブル下側に最大主引張応力が作用し、(b)図より、バンド近傍に層間せん断応力が集中していることが判る。(c)図でも同様に、バンド近傍で鋼ケーブル部に繊維直交方向せん断応力が集中することが判る。また、バンド端部におけるケーブル軸直角断面(A-A')のせん断応力分布を図-4に示す。

各解析ケースにおける炭素繊維ケーブル、及び鋼ケーブルに作用する最大引張応力、層間せん断応力、繊維直交方向のせん断応力を図-5に示す。炭素繊維ケーブルの引張応力はtype-scでは、バンド近傍で局部的に許容値を26%超過しているが、バンドやケーブル間の滑りを無視したためと考えられる。図から、鋼ケーブルを増やせば炭素繊維ケーブルに作用するせん断応力が低下する傾向にあることが分かる。鋼ケーブルの断面を増加すると鋼ケーブルに作用する応力は上昇するが、type-H2、H3はtype-sを上回る最大引張応力が作用することが分かる。これは、炭素繊維材の弾性係数が鋼ケーブルより低いことが影響しているものと考えられる。

4. まとめ

長大吊橋のケーブルに鋼と炭素繊維を組み合わせたハイブリッドケーブルを適用し、バンド近傍のケーブルに生じる作用応力と応力分布を解析により明らかにした。その結果、炭素繊維ケーブルの外周に巻く鋼ケーブル厚を変化させることで、バンド部で炭素繊維ケーブルに作用する最大引張応力、最大せん断応力を低下できることを確認した。今後は、炭素繊維材の異方性の影響やバンドやケーブル間の滑りを考慮した解析を行う予定である。

【参考文献】

1) 武、木谷、小西、西村、新素材ケーブルを用いたデュアルケーブル形式吊橋に関する考察、鋼構造年次論文報告集、vol.5、1997

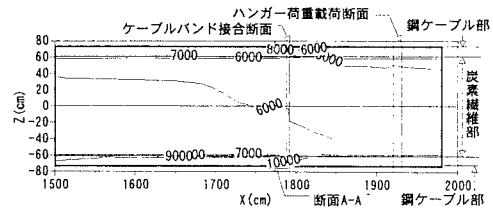


図-3 (a) 軸方向応力分布(kgf/cm²)

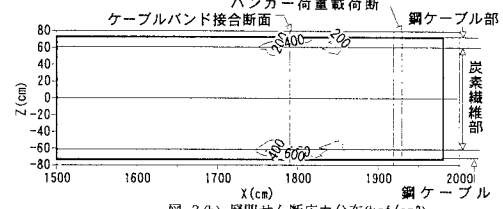


図-3 (b) 層間せん断応力分布(kgf/cm²)

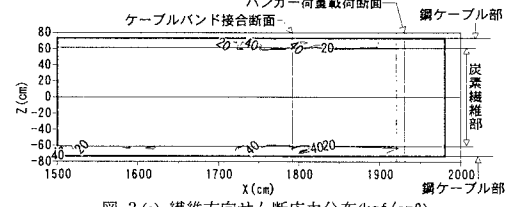


図-3 (c) 繊維方向せん断応力分布(kgf/cm²)

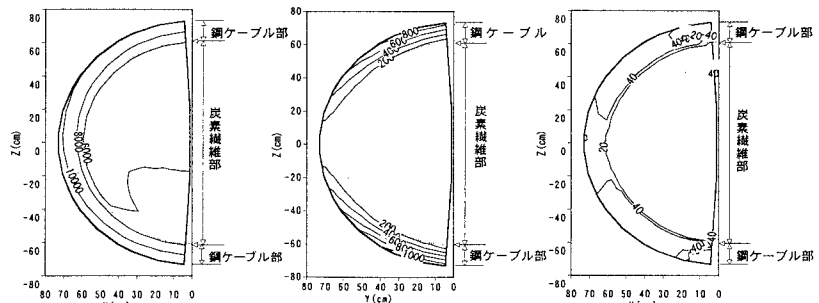


図-4 (a) 軸方向応力分布(kgf/cm²)

図-4 (b) 層間せん断応力分布(kgf/cm²)

図-4 (c) 繊維直交方向せん断応力分布

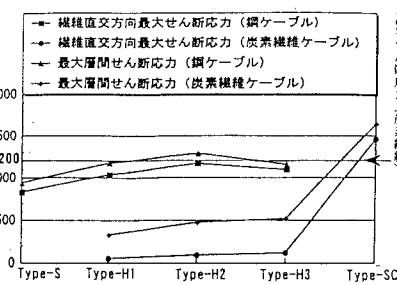


図-5 (a) せん断応力の最大値

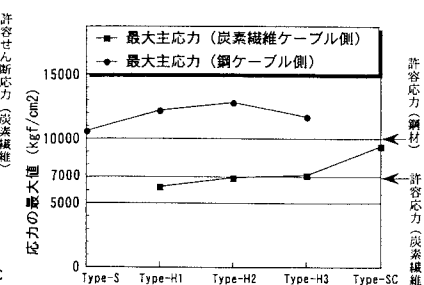


図-5 (b) 最大主応力