

投稿論文 (和文ノート)

**TECHNICAL
NOTE**

ケーブル制振用ダンパーを設置した2径間連続鋼斜張橋の構造減衰特性に関する一考察

米田昌弘*・宮地真一**・望月秀之***

斜張橋のケーブル制振対策として、近年ではケーブル端部付近にダンパーを設置する方式が採用される場合が多い。本文はケーブル制振用ダンパーが設置された実在の鋼斜張橋を対象に複素固有値解析を実施し、斜張橋全体系モードの構造減衰特性に及ぼすケーブル制振用ダンパーの効果について検討している。そして、斜張橋全体系モードの構造減衰に対してもケーブル制振用ダンパーは耐風設計上有用な作用を示す場合のあることを報告している。

Key Words : cable-stayed bridge, cable vibration damper, wind-induced vibration, wind-resistant design

1. ま え が き

近年における斜張橋の長径間化には目覚ましいものがあり、施工実績も増加の一途をたどっている。しかしながら、斜張橋の長径間化に伴うケーブルの長大化やポリエチレン管被覆の太径ケーブルの一般化およびダブルケーブル方式の増加とともに、レインバイブレーションやウェイクギャロッピングと呼ばれる、風によるケーブル自身の振動が大きな問題として取り挙げられており、初期の設計段階からケーブル振動の対処方法^{1),2)}について検討する機会も多くなっている。斜張橋ケーブルの風による振動に対処する方法として、わが国ではステンレスワイヤや特殊な治具でケーブル同志を結合する方法が採用されてきた。しかしながら、近年ではケーブル端部付近にダンパーを設置する方式が注目を浴びつつあり、すでに荒津大橋、幸魂橋、東名足柄橋、天保山大橋、青森ベイブリッジ等においてケーブル制振対策として採用されるに至っている。

最近の斜張橋ではマルチケーブル化傾向が著しいが、このようなマルチケーブル形式斜張橋では意図的にケーブルの横振動数を調律しなくとも桁とケーブルが連成振動を生じる可能性が十分に予想される。このような観点から、著者の一人はトラス形式の3径間連続斜張橋を対象に、連成振動に関係する特定のケーブルにダンパーを設置した場合のシステムダンピング効果について検討している³⁾。しかしながら、この解析では、トラス弦材高さとの関係からダンパーは比較的低い位置（ケーブル定着点から、1.0mと1.5mなる高さの位置）に設置されており、また、道路・鉄道併用橋で橋梁本体重量が非常

に大きいこともあり、耐風設計上有意な程度まで斜張橋全体系の構造減衰を増加させるためには100 t·s/m程度以上の減衰容量を有するダンパーの設置が必要であった。ケーブル制振用ダンパーは今までのところ中小規模程度の箱桁形式斜張橋に適用されている。この際、ダンパーは美観上から自動車防護柵より低い位置に設置されるが、ダンパーによる制振効果を効率良く期待するためには桁側の緩衝装置は一般に除去される。それゆえ、ダンパーの所要粘性減衰係数は10 t·s/m程度と比較的小さいもののダンパーは上述の解析条件に比べ高い位置に設置されることとなり、ケーブル卓越振動のみならず桁とケーブルが連成した全体系モードにおける構造減衰の増加にも寄与するものと予想される。したがって、ケーブル制振用ダンパーによる斜張橋全体系モードの構造減衰の増加量について検討しておくことは実務上重要と考えられるにもかかわらず、ケーブル制振用ダンパーの歴史がきわめて浅いこともあり、現在までのところ定量的な評価はほとんどなされていない。

そこで、本文では、斜張橋の動的耐風設計に関する技術資料を提供することを目的として、ケーブル制振用ダンパーが設置された実在の鋼斜張橋を対象に複素固有値解析を実施し、斜張橋全体系モードの構造減衰特性に及ぼすケーブル制振用ダンパーの効果について検討した。

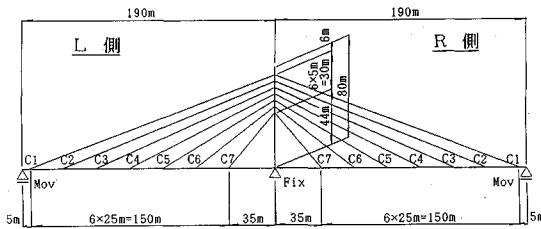
2. 対象とした斜張橋とその非減衰固有振動数特性

対象とした橋梁は図1に示すような1面吊り7段ケーブルの2径間連続鋼斜張橋(190m+190m)である。本橋の各段ケーブルはそれぞれダブルケーブル(ケーブル中心間隔/ケーブル径=4.29~5.36)で構成され、また、ノングラウトタイプのHiAmアンカーケーブル(ϕ 140mm~ ϕ 175mm)を使用していたことから、架設時からウェイクギャロッピングがしばしば観測され、ケー

* 正会員 工博 川田工業(株) 技術本部振動研究室長
(〒550 大阪市西区北堀江1-22-19)

** 正会員 工修 川田工業(株) 技術本部振動研究室

*** 正会員 川田工業(株) 技術本部振動研究室



図一 対象とした2径間連続鋼斜張橋

表一 片主構当たりの基本構造諸元

	断面積 A (m ²)	断面2次モーメント I (m ⁴)	単位重量 w (t/m)	死荷重張力 T (t)	
主 桁	0.4500	0.8500	8.5000	—	
主 塔	0.3500	0.9500	4.3000	—	
ケーブル	C1	0.0153	—	0.1278	561.0
	C2	0.0141	—	0.1181	583.5
	C3	0.0134	—	0.1126	524.0
	C4	0.0130	—	0.1082	476.0
	C5	0.0121	—	0.1007	428.5
	C6	0.0097	—	0.0815	331.5
	C7	0.0097	—	0.0815	351.5



写真一 ケーブル制振用ダンパーの設置状況

ブル制振対策として写真一に示すような粘性せん断型ダンパーが全段ケーブルに設置されるに至っている⁴⁾。解析で用いた本橋の片主構当たりの構造諸元を表一に示す。なお、ケーブル部のモデル化にあたっては、分割数に依存した解析誤差を極力小さくすることを考え、各段ケーブルをそれぞれ100部材に分割することとした。

対象とした斜張橋の非減衰固有振動数特性を把握するため、固有振動解析を実施した。得られた16次までの解析結果を図二に示す。図二からわかるように、1次が桁卓越モード、8次と15次が桁とケーブルの連成モード、その他がケーブル卓越モードとなっている。なお、ここに16次モードまでを解析対象としたのは、設計風速の大きさにも関係するが一般には1 Hz程度以下の桁振動が耐風性を支配する場合が多いことに着目したことによる。

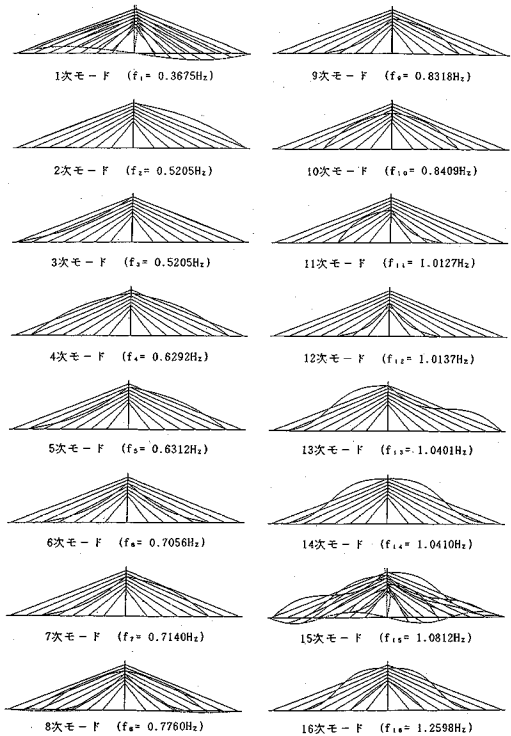
3. ケーブル制振用ダンパーを設置した斜張橋の構造減衰特性

(1) ダンパーの設置方法

ケーブルの横振動を考慮した場合の非減衰固有振動数特性を把握した後、各段のケーブル法線方向にそれぞれダンパー（減衰力は速度比例型とする）を設置することにした。なお、 x をケーブル端部からのダンパーの取り付け位置、 l をケーブル長とした場合、ダンパーは1段目（最上段）～3段目ケーブルでは $x/l=0.04$ 、4段目～6段目ケーブルでは $x/l=0.05$ 、最下段ケーブルでは $x/l=0.06$ なる位置に設置されたことになるが、これらの位置は実橋ケーブルでのダンパー設置箇所ともほぼ一致する。

(2) 複素固有値解析結果とその考察

対象とした斜張橋では、ケーブル制振対策として等価



図二 固有振動解析結果

粘性減衰係数が約9 t·s/m（設計温度30℃、振動振幅0.5 cm、振動数0.5 Hz）の粘性せん断型ダンパーが採用されている。また、オイルダンパー方式による事例を調査した結果、粘性減衰係数は上述の値とほぼ同程度であったことも考慮し、ここではダンパー1基当たりの粘性減衰係数をそれぞれ5.0 t·s/m、10.0 t·s/m、15.0 t·s/mとした3ケースについて、汎用プログラムであるNASTRANを用いて複素固有値解析（解法はインバー

ドに対してもケーブル制振用ダンパーの作用により、前述した程度の構造減衰がすでに付加されている可能性が高いことを述べておきたい。

以上の解析結果と考察から、本橋ならびに本橋と類似の規模を有する斜張橋では、全体系モードに及ぼすケーブル制振用ダンパーの減衰付加効果を考慮しうる場合が有り得るものと言えよう。

4. あとがき

本文はケーブル制振用ダンパーが設置された実在の鋼斜張橋を対象に複素固有値解析を実施し、斜張橋全体系の構造減衰特性に及ぼすケーブル制振用ダンパーの効果について検討したものである。その結果、風によるケーブル振動を制振する目的でダンパーが設置された場合にも、桁とケーブルが連成振動する場合には、対応する斜張橋全体系モードの構造減衰が耐風設計上有意な程度まで増加しえることを示すことができた。また、ケーブル振動との連成が認められなかった桁卓越振動モードに対しても、ダンパー取り付け位置におけるケーブルと主桁との微小な相対変位の差異に起因し、 $\delta=0.02$ を基準とした場合、20%～55%程度の構造減衰の増加が期待できることも示唆することができた。斜張橋ケーブルの風による振動に対処する方法として断面形状を変更する空力的対策も考案され一部実用化されているが、上述したような斜張橋全体系モードに対する減衰付加特性はダンパー方式特有の大きな利点でもある。

主桁の渦励振対策としてはフラップと呼ばれる空力的対策やTMDによって減衰を付加する方法が有効であるが、現在では風洞実験で渦励振の発現が予想された場合にも完成後の橋梁に振動が発生した場合にその状況に

応じて対策を施すという方針が採用される場合が多い。したがって、フラップ等の事後対策の有無に対して全体系モードの構造減衰に及ぼすケーブル制振用ダンパーの減衰付加効果は耐風設計上重要な役割りを果たすことが十分に有り得るものと考えられる。特定の橋梁に対する解析的検討ではあるが、本文に示された結果が斜張橋の耐風設計に携わる実務設計者にとって有用な技術資料となれば幸いである。

なお、本研究では鉛直たわみ振動に着目したが、桁とケーブルの連成はねじれ振動においても生じ、特に主桁の基本振動（対称1次振動）とケーブルが連成する可能性は鉛直たわみ振動の場合よりも高い。それゆえ、今後は、ケーブル制振用ダンパーが設置されたその他の橋梁を対象に、ねじれ振動に対する解析的検討や実橋試験による検証についても研究を進めていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 横山功一・日下部毅明：斜張橋ケーブルの風による振動と対策、橋梁と基礎、Vol. 23, No. 8, pp. 75～84, 1989年8月。
- 2) 米田昌弘・前田研一：斜張橋ケーブルの風による振動とその制振法、橋梁、Vol. 28, No. 4, pp. 54～62, 1992年4月。
- 3) 前田研一・米田昌弘：マルチケーブル形式斜張橋の構造減衰特性に及ぼすケーブルダンパーの効果、土木学会論文集、第404号/I-11, pp. 451～454, 1989年4月。
- 4) 米田昌弘・前田研一・伊関治郎・下田郁夫：ケーブル制振用粘性せん断型ダンパの開発、日本機械学会論文集(C編)、58巻55号, pp. 47～52, 1992年11月。
- 5) たとえば、(社)日本道路協会：道路橋耐風設計便覧、pp. 10～21, 1991年7月。

(1992. 9. 30 受付)

EFFECTS OF CABLE VIBRATION DAMPERS ON THE WHOLE STRUCTURAL DAMPING OF A TWO-SPAN STEEL CABLE-STAYED GIRDER BRIDGE

Masahiro YONEDA, Shin-ichi MIYACHI and Hideyuki MOCHIZUKI

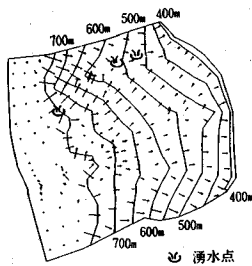
The damping device has been the center of interest in our country as an effective method to suppress the wind-induced cable vibrations of cable-stayed bridges. It may happen that the transverse local vibrations of the cables as a partial structure system couple with the vibrations of the cable-stayed bridge as a whole structure system, for those bridges in recent years which tend to be more longer and to have the multi-cable system.

Therefore, the effects of cable vibration dampers on the whole structural damping of a two-span steel cable-stayed girder bridge where the viscous-shear dampers have been installed near the lower end of each cable was investigated by means of complex eigenvalue calculation.

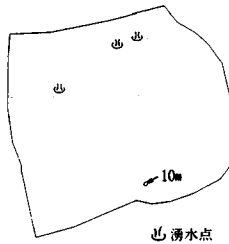
あの地下水解析ソフトがさらに機能充実!

UNISSE_{ユニセフ}(V-2)

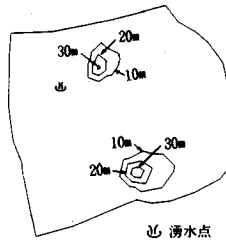
スピーディな同定・安価な解析



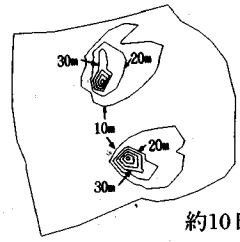
初期状態の地下水流



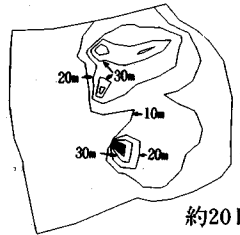
トンネル掘削開始直後



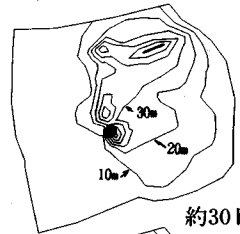
約4日後



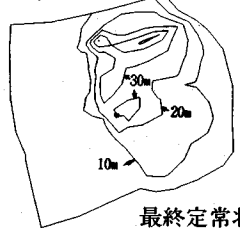
約10日後



約20日後



約30日後



最終定常状態

- 特長
- 有限要素法による準3次元解析を中心とした地下水の流れのトータルシステムです。
 - 観測水位と計算水位より、非線形最小二乗法を用いて帯水層定数の同定が可能です。(逆解析手法)
 - 建設・土木工事(掘削・ディープウェルその他)の解析に対応する多くの機能を備えています。
 - メッシュ・ジュネレータにより、モデル(要素分割)作成の手間を軽減できます。
 - 図化处理プログラムにより、結果の確認が容易に行えます。

適応機種: SUN, NEWS, HP,
IBM 30XX, FACOM-Mシリーズ 他

この製品は、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。
通商産業省 特別認可法人

IPA 情報処理振興事業協会
株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

〒105 東京都港区芝公園三丁目1番38号
TEL. (03) 3437-2301

問合せ先

〒541 大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当: 岩崎
(03) 3665-9741 本社窓口: 菅原

地球を切る! 視る! 創る!

未来設計企業
CRC

3次元地質解析システム

GEORAMA

ジオラマ

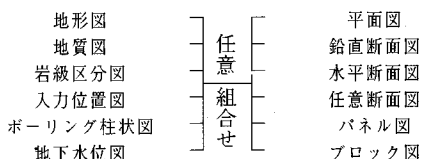
概要

地質調査で得られたデータを基に、利用者の判断を加味して3次元地質モデルを作成します。この3次元モデルより地質・岩級区分・地下水位等をグラフィック表示並びに作画します。今後この3次元モデルを利用して解析用メッシュ作成等への応用が考えられます。

特徴

- ・ 走向・傾斜データも考慮できる高度な推定法
- ・ 複雑な地質体モデルの表現が可能
- ・ ビジュアルで豊富な出力機能
- ・ 図面間での整合性がとれる
- ・ 操作性の高いシステム

出力図面



ユーザーインターフェースにより、拡がる適用分野

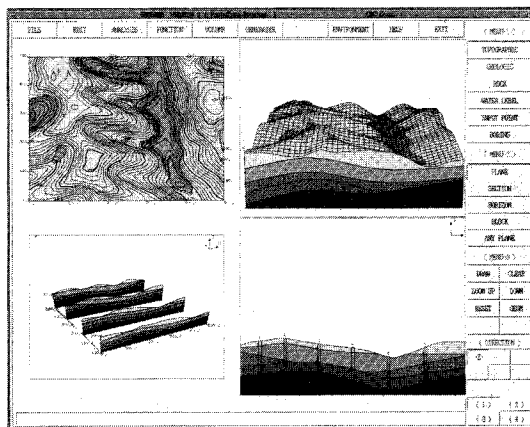
データベース 土量計算 構造物マッピング
メッシュジェネレータ プレゼンテーション資料 その他

標準適応機種(EWS)

- ・ SONY-NEWSシリーズ*
 - ・ Sun-3, Sun4, Sun-SPARCシリーズ*
 - ・ HP9000/300, HP9000/800シリーズ*
- *ウィンドウシステムとしてX-Window System, Version 11 (X11)が必要です。
(標準以外のものにつきましても御相談に応じます)

(株)アイ・エヌ・エー アイサワ工業(株) アイドールエン지니어リング(株) アサヒ地水探査(株) (株)エイトコンサルタント 応用地質(株) 大阪ガス(株) 大手開発(株) (株)大林組 (株)奥村組 川崎地質(株) 基礎地盤コンサルタンツ(株) (株)熊谷組 (株)建設技術研究所 建設省 土木研究所 五洋建設(株) 佐藤工業(株) サンコーコンサルタント(株) (株)四国総合研究所 (株)西電技術コンサルタント 清水建設(株)	(株)情報数理研究所 (株)新日本技術コンサルタント 住友建設(株) 住友建設(株) 石油資源開発(株) 全日本コンサルタント(株) 大成建設(株) 大豊建設(株) (株)ダイソク (株)ダイヤコンサルタント (株)竹中工務店 中央開発(株) (株)地球科学総合研究所 中電技術コンサルタント(株) 通産省 地質調査所 電源開発(株) (株)電力中央研究所 東急建設(株) 東建地質調査(株) 東京電力(株)	東電設計(株) 東電ソフトウェア(株) 東洋地質調査(株) 動力炉・核燃料開発事業団 (株)中堀ソイルコーナ 西松建設(株) 日本工営(株) 日本国土開発(株) (株)日本パブリック エンジニアリング (株)間組 (株)阪神コンサルタンツ ヒロセ(株) フジタ工業(株) (株)富士とボーリング 北光ジオリサーチ(株) 北海道開発コンサルタント(株) 三井建設(株) 三菱金属(株) 村本建設(株) 明治コンサルタント(株)
---	---	--

3次元地質解析システム研究会 参加メンバー



株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

〒541 大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当: 岩崎
(03) 3665-9741 本社窓口: 菅原

移流拡散解析プログラム

未来設計企業

CRC

MATRAN EX

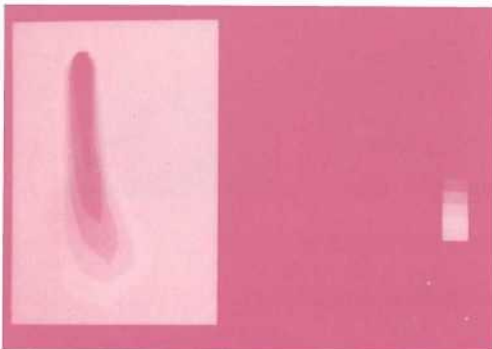
地下水汚染
の解析に!

塩水くさび
農薬汚染
廃棄物処理
その他

飽和・不飽和浸透解析に、移流分散・拡散を考慮。
EXtensiveな問題に適用可能なEXcellentなプログラム。

プログラムの特長

- 断面(EXV)および平面(EXH)の解析が可能
- 充実した解析機能
 - 定常・非定常解析 (断面、平面)
 - 軸対称解析 (断面)
 - 降雨 (断面、平面)
 - 揚水・注水 (断面、平面)
 - 浸出面 (断面)
 - 材質変更 (断面、平面)
 - 境界条件の変更 (断面、平面)
 - 水位・濃度の経時変化 (断面、平面)
- 豊富なグラフィック出力 (濃度コンター図、流速ベクトル図、濃度の時間推移グラフ 他)



濃度コンター図(平面解析例)

画面出力図



濃度コンター図(断面解析例)

画面出力図

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

〒541 大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当:岩 崎
(03) 3665-9741 本社窓口:菅 原

土木学会論文集

昭和三十七年五月二十八日 第三種郵便物認可
平成五年九月十五日印刷
平成五年九月二十日発行
土木学会論文集(毎月二回)二十日・二十一日発行

定価 1,000円(本体価格・九七円)