

(54) 3000tf斜材実大疲労試験装置の紹介

鹿島建設株式会社	技術研究所	正会員	村山八洲雄
同	上		○夏目忠彦
鹿島建設株式会社	土木設計本部	正会員	山村正人
同	上	正会員	鈴木圭

1. はじめに

近年建設が盛んな斜張橋の品質を保証する上で、斜材ケーブルの交通荷重や風荷重などによる変動軸引張り荷重に対する斜材システムの耐疲労性能の検討が重要になっている。

従来の斜張橋では、斜材ケーブルの素線や小型部分模型による疲労試験を行い、試験結果に余裕をみて設計に反映する方法により耐疲労性能を保証してきた。しかし最近では斜材ケーブルが大型化し、かつコンクリート桁がスレンダーになってきたため、従来の考え方の延長で活荷重に対する斜材ケーブルの耐疲労性能を保証することは必ずしも適切とは言えなくなってきている。

欧米では、プロジェクト毎に斜材実大疲労試験を行うことを義務付けたPTI(ポストテンション協会)の斜張橋ケーブルの設計・試験および架設に関する勧告¹⁾(以下PTI勧告)が普及しており、数機関—例えばドイツ・ミュンヘン工科大学、スイス・国立材料試験所、アメリカ・イリノイ州建設技術研究所などが大容量試験機を保有し、斜材の実大疲労試験を実施している趨勢にある。

このような背景のもと、施工する斜張橋の品質を斜材ケーブルを含めて総合的に保証する立場から、大容量軸引張り疲労試験機を製作し稼働を開始した。本装置、KASC Tester(Kajima Stay Cable Tester)はこの種の装置としては我が国初めてのものであり、載荷容量的にも世界最大規模のものである。

以下に、試験機の構造及び特徴、性能、試験方法等を紹介する。

2. 試験機の概要

1) 構造及び仕様

試験機の構造概要及び外観を図-1、写真-1に示す。試験機は、一台当たり動的加力能力600tf、静的加力能力1000tfを有する3台の電気油圧式アクチュエータ及びその両端に剛結した反力ブロックから構成されており、アクチュエータで反力ブロックを押し広げることにより、両反力ブロックの中心間に張渡した実物の定着部を含む斜材試験体に変動軸引張り力を作用させる構造となっている。試験機の仕様を表-1に示す。試験機の仕様は過去に行われた実大疲労試験の試験例を参考にするとともに、現時点で最大と想定

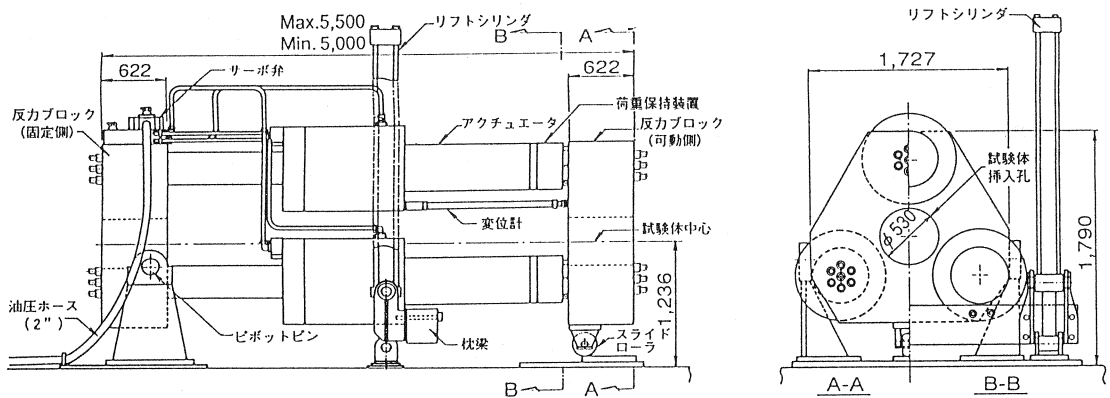


図-1 KASCの構造概要

される引張り荷重 3000tf までの斜材ケーブルに対し、PTI 勧告に準拠した試験が実施できるように定めた。

PTI 勧告は、斜張橋ケーブルの設計及び試験に関する指針を設定したもので、ケーブルに関する許容応力度、許容疲労振幅等を設定するとともに、疲労試験方法と合格規準を明確に規定している。特に活荷重によるケーブルの疲労設計及び試験に関しては現状の研究成果を取入れた最新の指針と考えられる。

PTI 勧告による試験条件及び合格規準の概要は表-2 に示すとおりである。

表-1 KASCの仕様

項目	仕様
静的載荷能力	静的最大荷重：3000 tf 最大ストローク：500 mm
動的載荷能力	動的最大荷重：1800 tf 変位全振幅：± 2.5mm (0.75Hz時) (応力全振幅約 20 kgf/mm ² 相当) 限界性能：図-2 参照
試験体寸法	定着間長さ：5000 mm 最大直径：530 mm
制御方式	電気油圧サーボによる 変位及び荷重制御
傾倒装置	最大傾斜角：60° 傾倒速度：約12°/min
荷重保持装置	ネジ式、保持荷重：約 1400 tf
油圧源	圧力：210 kgf/cm ² 所要流量：900 ℓ/min
計測装置	変位及び荷重の振幅・平均値指示計 累積繰返し数指示計 変位及び荷重の上・下限リミック
安全装置	変位・荷重振幅低下検出 荷重保持装置(ストップ) 破断検出器(AEセンサ)

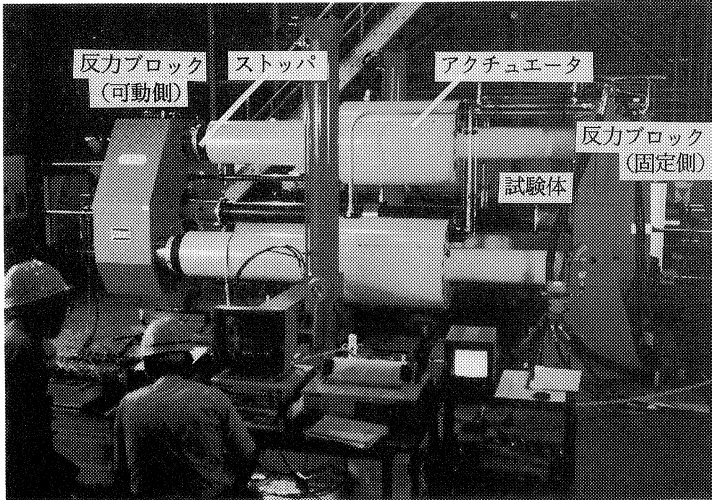


写真-1 KASCによる試験風景

表-2 PTI 勧告による試験条件

項目	条件
試験体数	1橋当たり3種類の代表的ケーブル
試験体長さ	3.66~5.49 m (12~18 ft)
グラウト方法	外套管がPE管の場合：グラウト有り、外套管が鋼管の場合：グラウトなし グラウト姿勢：規定なし
グラウト時応力	上限荷重から応力振幅の75%を減じた値
疲労試験	上限荷重：規格引張り強度の45%、応力振幅：16.2kgf/mm ² 繰返し数：200万回
静的載荷試験	実引張り強度の95%まで載荷
合格の条件	a. 疲労試験中、全数の2%を越える素線が破断しないこと b. 疲労試験後、初期実引張り強度の95%以上の耐力を有すること c. 定着体、定着具に損傷がないこと

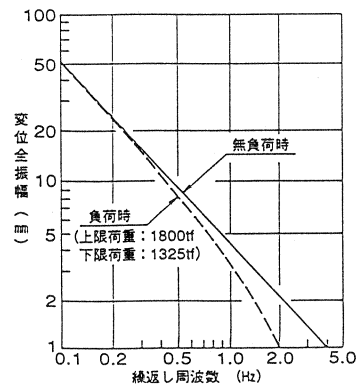


図-2 KASCの限界性能曲線

2) 試験機の特長

試験機的主要な特長を列記すると次のとおりである。

- ①動的に最大 1800 tf、静的に最大 3000 tf の引張り力を加えることができ、大容量の斜材でも実物の試験ができる。
- ②押上げ加力方式のため、載荷容量に比較して装置がコンパクトであり、横型のため作業性が良好である。
- ③機全体を実際の斜材の角度に対応して水平から60°までの任意の角度に傾斜、固定することができるため、斜材ケーブルの組立て、緊張及びグラウトの注入など実際により近い条件で試験体を製作することができる。(写真-2 参照)
- ④試験中、停電などによりアクチュエータの油圧源が停止した場合、緊張力の低下によりグラウトが損傷しないよう、荷重保持装置(ストップ)を備えている。また、この機能によりグラウト養生期間中油圧

源を停止しておくことができる。

(写真-1、図-1参照)

- ⑤試験中の両側の反力ブロックの平行度を確保し、試験斜材に曲げが作用しない構造になっている。

3. 実験方法

この装置を用いて、PTI勧告に準拠して試験を行う場合の手順及び条件は以下に示すとおりである。また模式的に図-3に示す。

- ①試験機に定着部を含め斜材を組込み予備緊張する。この時、試験終了後試験体の取外しが容易なように試験機のストロークを若干伸ばしストッパで固定する。
- ②試験斜材がグラウトタイプの場合は、グラウト注入に先立ち所定荷重まで試験機で緊張しストッパで固定する。
- ③試験機を所定の角度に傾斜させグラウト注入・養生の後試験機を水平に戻す。
- ④所定応力振幅で所定回数の疲労試験を行う。疲労試験中は下限荷重よりやや低めにストッパを設定し、停電等による油圧源の停止にそなえる。
- ⑤静的引張り試験を行い、残存引張り強度を確認する。

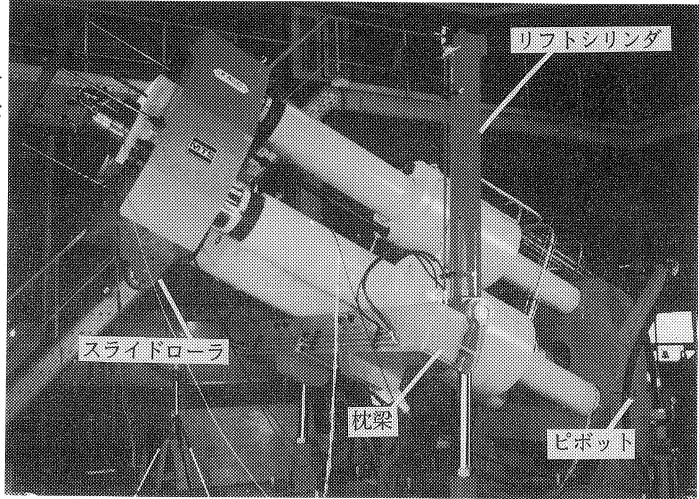


写真-2 傾倒中のKASC

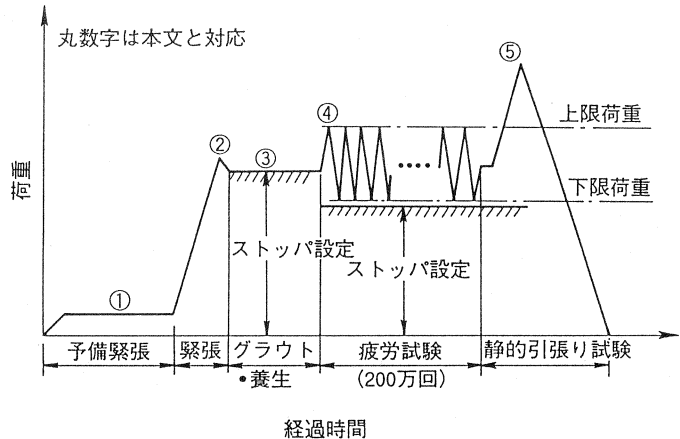


図-3 実験手順の模式図

4. 設計に当たっての留意点

本試験機の設計過程で留意した事項を参考までに列記すると次のとおりである。

1) 傾倒中の安全確保

試験機の傾倒は図-1、写真-2に示すように、固定側反力ブロックのピボットピンを支点としリフトシリンダにより枕梁を上昇させて行う構造であるため、傾倒中に油圧配管系が破損すると試験機が落下するおそれがある。これを防止するためリフトシリンダに落下防止弁を設けた。また傾倒中の地震に対しても安全なように傾倒用の部材を設計した。

2) 荷重保持装置(ストッパ)の選定

荷重保持の方法としてアキュームレータ(蓄圧器)を用いた油圧方式と機械式(ネジ式)について検討したが、安全で動作が確実な図-4に示すようなネジ式を採用した。保持荷重の設定はネジを手動で回転し長さを調整することで行う。ネジ式の場合、油圧で載荷している荷重を荷重保持装置(ストッパ)に受替えたときに荷重低下が生じるため(実測で約3%)、ストッパ設定時にはこの低下分を考慮する必要がある。

3) 反力ブロックの平行度の確保

試験体に曲げを作用させないため、両反力ブロックの平行度を厳密に保つことが重要である。この試験機では、図-4に模式的に示すように反力ブロックとアクチュエータを剛結し、かつアクチュエータ内部にピストン及びロッドベアリングを設け、両反力ブロックが幾何学的に並行運動する構造とした。なお、3台のアクチュエータは1系統の制御系で運転される。

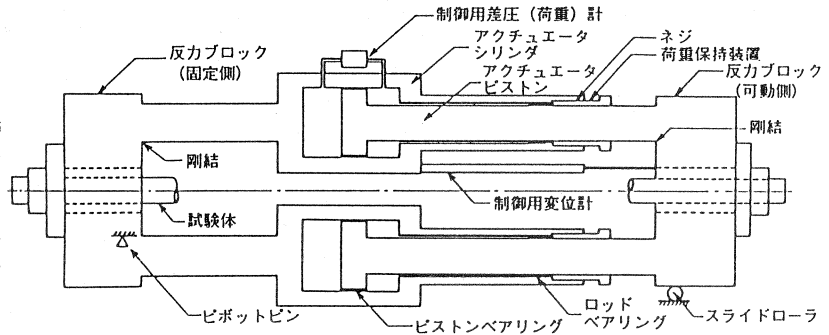


図-4 KASCの内部構造模式図

4) 内部摩擦の減少

本試験機は横型で、反力ブロック下部(図-4に示すピボットピンとスライドローラ)で単純支持した構造のため、アクチュエータが自重により曲げを受け、内部摩擦が大きくなることが予想された。内部摩擦の増加は油圧シールの寿命や荷重測定精度(本試験機では荷重は油圧により測定している)に悪影響を及ぼす。このため、試験機の支持点間距離をできるだけ短くしてアクチュエータに作用する曲げを減らし、また油圧シールの構造を工夫することにより内部摩擦の減少を図った。その結果、内部摩擦力は約4.5tf(実測)にとどめることができた。

5) アクチュエータの小形化

3台のアクチュエータに囲まれた試験体への接近を容易にし、かつ試験機全体の小形化を図るため、1800tf~3000tfの範囲の静的荷重は、増圧ポンプにより常用油圧源圧力210kgf/cm²を300kgf/cm²に昇圧して供給することにより行い、必要なアクチュエータ直径(受圧面積)の減少を図った。

6) 素線の破断検出法

試験結果の評価に当り、疲労試験中素線破断の検出が重要になる。素線の破断検出は、一般的に行われているAE法(加速度検出法)を採用した。しかし、グラウトタイプの斜材ケーブルの場合、AE波形からグラウトのひびわれ発生と素線破断を明確に区別できるまでに至っていない。今後さらにAE波形データを蓄積し、検出精度の向上を図る予定である。

5. あとがき

本試験機は、繰返し周波数0.75Hzで連続運転することにより200万回疲労試験を1ヶ月で終了するよう計画したが、運転実績では定期点検のための休止、夜間の騒音防止のための繰返し周波数の低減(0.6Hz)等により約1.5ヶ月(稼働率換算約70%)を要している。

最後に、今後この試験機が斜材の品質保証や斜材システムの開発に有効に活用され、プレストレストコンクリート技術の発展に何等か寄与することができれば望外の喜びとするものである。

謝辞: 本試験機の基本設計に当たり指導・助言をいただいた、ドイツ・ミュンヘン工科大学、Hans H. Müller先生に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) Post Tentioning Institute Committee on Cable Stayed Bridges, Recommendation for Stay Cable Design, Testing and Installation, 1990.2