

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.8 (1976) No.2

技術研究所の 8000 t 構造物引張試験機について

On 8000t Test Rig Newly Installed at Research Laboratories

船越 督己(Tokushi Funakoshi) 田中 康浩(Michihiro Tanaka) 中野 善文(Yoshifumi Nakano) 藤元 克巳(Katsumi Fujimoto)

要旨：

8000t 構造物引張試験機が、川崎製鉄（株）技術研究所に完成した。これは大型鋼材を用いて造られる構造物およびその構成部材の破壊特性の把握を目的とした試験に用いられるものである。本試験機は電気油圧式横型試験装置であり、負荷能力は静的 8000t、動的 5000t である。試験体の最大寸法は、長さ 6 m、高さ 3 m、幅 1.5m である。付属装置としては 2 重引張試験用試験機と ESSO 試験用衝撃打撃装置がある。本報では、8000t 構造物引張試験機と関連設備の概要について述べている。

Synopsis：

An 8000t test rig has been installed at Research Laboratories of Kawasaki Steel Corporation for the purpose of studying the fracture characteristics of structures and their components that are made of large steel plates. It is an electro-hydraulic, lateral type testing system with loading capacities of 8000t for static test and 5000t for dynamic test. It can test specimens whose maximum dimensions are six meters in length, three meters in height and one and a half meters in width. The testing system includes two submachines for double tension test and as impact test device for ESSO test. This report presents an outline of the testing system and some other related installations.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

技術研究所の 8 000t 構造物引張試験機について

On 8 000t Test Rig Newly Installed at Research Laboratories

船 越 督 巳*

Tokushi Funakoshi

田 中 康 浩**

Michihiro Tanaka

中 野 善 文***

Yoshifumi Nakano

藤 元 克 巳****

Katsumi Fujimoto

Synopsis:

An 8 000t test rig has been installed at Research Laboratories of Kawasaki Steel Corporation for the purpose of studying the fracture characteristics of structures and their components that are made of large steel plates. It is an electro-hydraulic, lateral type testing system with loading capacities of 8 000t for static test and 5 000t for dynamic test. It can test specimens whose maximum dimensions are six meters in length, three meters in height and one and a half meters in width. The testing system includes two submachines for double tension test and an impact test device for ESSO test.

This report presents an outline of the testing system and some other related installations.

1. 緒 言

近年、構造物・圧力容器などの大型化、複雑化が急速に進行し、かつ使用条件が厳しくなるにつれ、これら大型構造物に使用される鉄鋼材料の耐破壊特性を的確に把握しておくことが従来にもまして重要になってきている。大型溶接構造物の耐破壊特性を考える場合、通常実施されている小型試験により得られたデータに基づいて推定が行われる。しかし、この推定は限られた条件下で行われた実験結果に基づくものであり、新しい鋼材・工作法などが開発された場合にもそのまま適用でき

るか否かには疑問がある。したがって、できるだけ現実の構造物に近い大きさでの大型試験を実施する必要がある。

当社技術研究所では、かねてから 8 000t 構造物引張試験機の建設を進めてきたが、このほど完成し、その後順調に稼動しているので試験機および関連設備の概要を紹介する。

2. 構造物引張試験機

2.1 概 要

本試験機は、静的試験時 8 000t、動的試験時

* 技術研究所厚板研究室室長・工博

*** 技術研究所厚板研究室・Ph. D.

** 技術研究所厚板研究室主任研究員

**** 技術研究所次長・工博

5 000t の最大引張力を有し、かつ最大長さ 6m、最大高さ 3m、最大幅 1.5m の大型試験体の試験が可能である。すなわち、大型鋼板試験片のみならず実際の構造物そのもの、あるいはその一部の静的引張試験ならびに荷重繰返しによる疲労試験を行う目的で建設した電気油圧式横型引張試験機である。主な仕様を表 1 に示す。また本機の外観を写真 1 に、外形を図 1 に示す。

2.2 構 成

本試験機は、試験機本体、制御装置および油圧装置より構成されている。図 2 はこれらの装置の試験棟内での配置を示しており、あわせて試験片

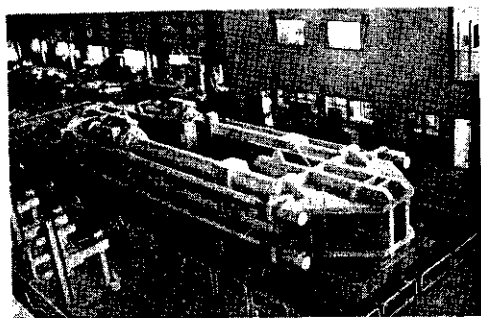


写真 1 8 000 t 構造物引張試験機外観図

表 1 8 000t 構造物引張試験機の主な仕様

容 量	静的試験時	最大引張荷重 8 000t
	動的試験時	〃 5 000t
構 造	横 型	ビンジョイント負荷方式
		2 000t アクチュエータ 4 台
寸 法	コラム間距離	2 400mm
	ビン間距離	10 000mm, 5 000mm
	最大ストローク	700mm
	有効ストローク	600mm
最大ラム速度	静的試験時	21mm/min
	動的試験時	0.1~20cpm
波 型	サイン波, 台形波, 3 角波	
	荷重, 変位	
試験体最大寸法	長 さ	6 000mm
	高 さ	3 000mm
	幅	1 500mm
主油圧ポンプ	板試験体厚さ	250mm
	静的試験用	500kg/cm ² , 28l/min, 55kW
	動的試験用	(350kg/cm ² , 645l/min, 450kW) × 3units

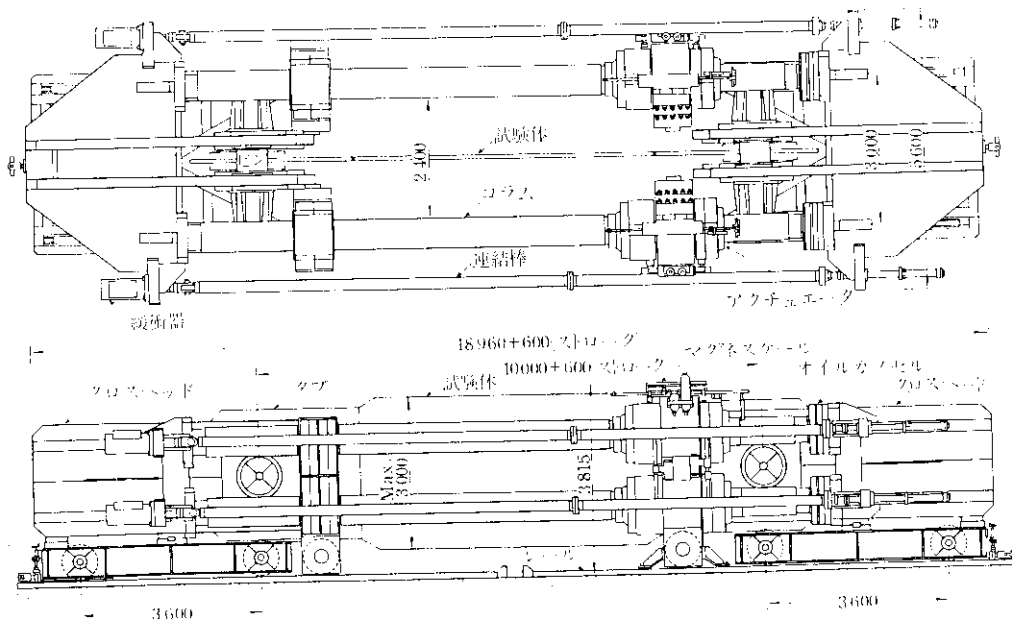


図 1 8 000 t 構造物引張試験機外形図

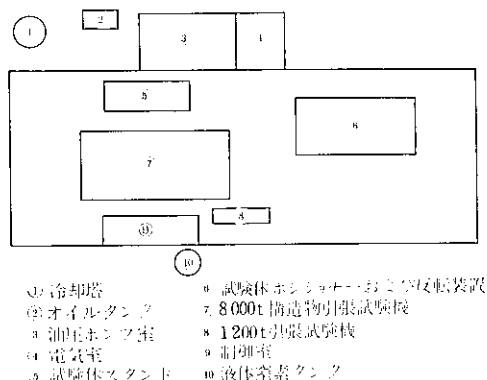


図2 諸設備配置図

の製作を始めとする試験に必要な諸設備との関連も示している。

試験機の概略系統図を図3に示す。負荷方式は静的試験と動的試験では異なる。静的試験では、手動弁または荷重制御弁ユニットにより、引張側(送り側)シリンダに最高 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧油を送り込むことによりアクチュエータのラムを移動させ、試験体に負荷する。この際、シリンダの戻し側には常時 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力をかけ、制御を行いやすくしている。一方、動的試験では、最高 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧油をサーボバルブに送り、このバ

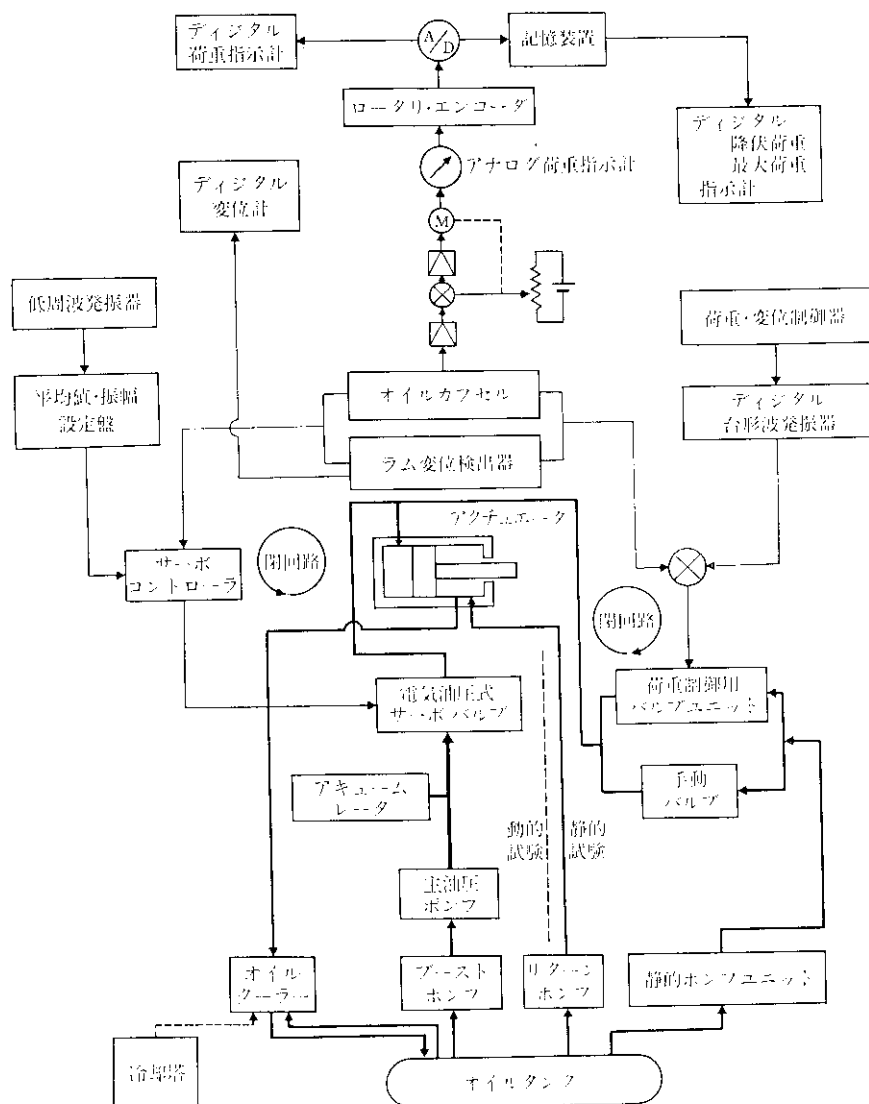


図3 8000 t 構造物引張試験機系統図

ルブの調整により、アクチュエータの送り側・戻し側シリンダに交互に給油することにより得られる脈動波を利用する機構である。

2.2.1 本 体

試験機本体は、図1に示すように、台車に載った2台のクロスヘッド、4台の2000tアクチュエータ、4本のコラムおよび緩衝器を介してクロスヘッド間を結ぶ4本の連結棒により構成されている。クロスヘッド、クロスヘッドに取付けられた荷重検出器であるオイルカプセル、アクチュエータ、コラムは直列に配され、クロスヘッドのピンを介して、タブに溶接した試験体に負荷する構造である。試験体長さを規定するピン間距離は、コラムと連結棒を所定の長さのものに交換することにより、5mと10mの2段階に変化させることができる。ピンは各クロスヘッドに1本ずつ取付けられ、それらは油圧により制御される。各ピンは直径600mmと400mmの2種類に使い分け可能で、試験対象に応じてタブのピン穴、したがってタブの大きさを変えることができ、試験体とタブとを溶接した際、両者のバランスをとりやすくしている。

2.2.2 制御装置

制御装置は、ピンの出し入れ、台車の移動および付属装置である高圧打撃装置用を除いて、すべて制御室内に収められており、種々の測定機器、試験体冷却装置の制御装置とともに操作される。制御装置は静的試験制御装置と動的試験制御装置に分類され、前者は自動と手動の2系列に分かれる。荷重制御弁ユニットを用いて自動運転をする静的試験および動的試験では、閉回路方式で制御が行われ、精度の良い試験を行うことができる。

本試験機の制御系統は2系統になっており、制御室側の2つのアクチュエータとポンプ室側の2つのアクチュエータの制御系1、2に分かれている。制御系2は制御系1に追尾して作動し、変動するラム変位検出器からの変位信号により制御される。制御系1では、ランプジェネレータあるいは低周波発振器からの信号に基づいて制御が行われる。

静的試験のときは、ランプジェネレータから発生された一定保持あるいは低サイクル繰返しの設定信号がオイルカプセルあるいはラム変位計からの出力信号と比較され、両者の差信号によって制御弁を駆動し、荷重あるいは変位がランプジェネレータの信号と一致するように自動制御を行う。また試験の途中で、荷重制御から変位制御へ、あるいはこの逆の切換えは自由である。

動的試験のときは、トランジスタ式低周波発振器から、三角波、正弦波、台形波あるいは方形波の信号が設定盤に送られ、振幅の設定と平均値加算が行われ、設定信号として、荷重検出器あるいはラム変位検出器からの荷重信号または変位信号と比較され、両者の差信号が制御増幅器で増幅されてサーボ弁を駆動し、荷重あるいは変位が発信器の信号に一致するように自動制御を行う。本試験機の繰返し試験能力線図を図4に示す。

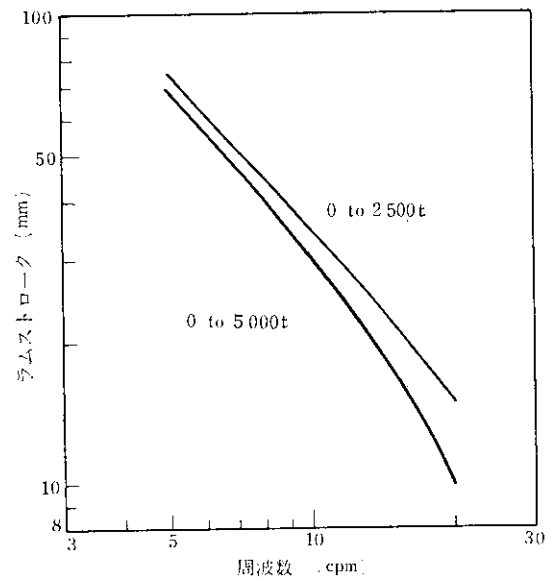


図4 8000t 構造物引張試験機のラムストローク-周波数特性曲線

2.2.3 計測装置

本試験機では、閉回路制御方式のためのフィードバック信号用およびモニタ用として荷重およびラム変位を常時計測している。

(1) 荷重検出器

荷重の検出には容量 2000t のオイルカプセルを用いている。オイルカプセルは 4 個あり、アクチュエータ先端にそれぞれ位置しており、各カプセルは $500\text{kg}/\text{cm}^2$ (10000t 用)、 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ (2000t 用) および $50\text{kg}/\text{cm}^2$ (500t 用) と 3 個の圧力ヘッドを有し、合計 12 個の圧力ヘッドを使用して、加算荷重指示および制御信号を取出す。荷重指示は、アナログ表示の主荷重計、デジタル表示および記録計への出力信号として用いられる。

本試験機では、重量 120t のクロスヘッド 2 台が台車に載っており、試験体に負荷するにはレール上でこれらのクロスヘッドを移動させる構造になっている。したがって、クロスヘッド移動時の台車車輪とレールの間の摩擦などのためオイルカプセルによって検出される荷重と、実際に試験体に作用している荷重との間に差異をもたらす可能性が心配される。そこで、直径 300mm の丸棒を検力棒として用いて、両者の間に差があるかどうかを調べた。丸棒の周囲に多数の歪ゲージを貼付し、所定の引張荷重を丸棒に負荷したときの歪を測定し、その平均値の変化より推定した。図 5 は、1000t まで 100t ごとに負荷したときの歪測定値について、日本海事協会の荷重検定を受けている 1000t 構造物試験機によって得られた値と本試験機によるものとを比較した結果である。図より明らかなように、台車車輪とレールの間の摩

擦などの影響がもっとも強く現われると考えられる低荷重領域においても、両者はかなりよく一致しており、オイルカプセルにより検出した荷重が試験体に作用する荷重であると見なしてよいことがわかる。

(2) ラム変位検出器

ラム変位の検出にはマグネスケールを用いている。これはメッキした磁性を持った金属リボンを伸長した状態で軟鋼フレームに固定したもので、リボンには 0.2mm ピッチで目盛信号を記録してある。ラム変位検出時には、1 ピッチを $1/200$ に内挿して、 1μ の読取りを行っている。検出されたラム変位は、制御信号として、またデジタル表示および記録計用出力信号として用いられる。

2.2.4 油圧装置

本試験機では、大きな荷重変位を伴う試験を行う必要上、大容量の油圧ポンプを必要とする。また試験機本体が大きいため、ピンの出し入れ、クロスヘッドの移動、大型バルブ類の操作にはパイロットポンプ ($70\text{kg}/\text{cm}^2$, $5.7\text{l}/\text{min}$) を用いて、試験機操作の簡便化を図っている。

静的試験には、吐出圧力 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 、吐出量 $28\text{l}/\text{min}$ の静的ポンプとシリンダ戻し側に圧力をかける吐出圧力 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 、吐出量 $18\text{l}/\text{min}$ の油圧ポンプを用いる。静的ポンプには、同軸に吐

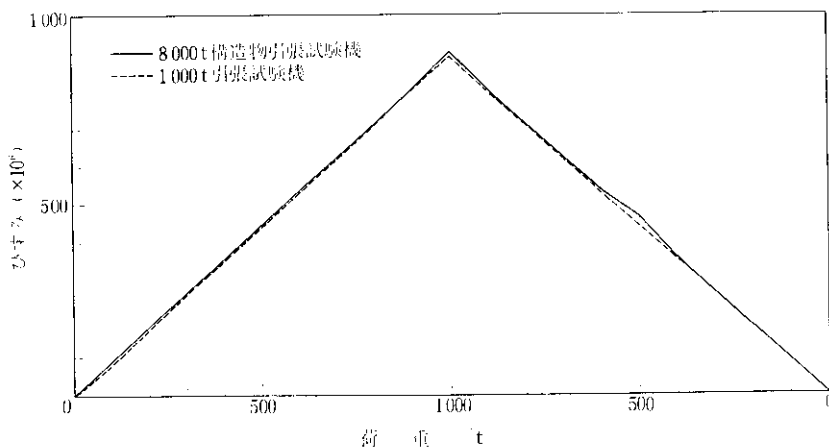


図 5 荷重検定棒上で測定したひずみと荷重指示計により指示された負荷荷重の関係

出力 500kg/cm², 吐出量 13.3l/min の 2 重引張試験用ポンプが接続されており, ラムの早送りには 2 台のポンプからの油圧を用いる。

動的試験には, 1 台あたりの吐出圧力 350 kg/cm², 吐出量 645l/min の D ポンプを 3 台並列に接続して用いる。D ポンプはアキシシャルポンプであり, したがって, ブーストポンプと呼ばれる遠心ポンプ (12kg/cm², 1 200l/min) 2 台によりポンプの吸入側に予圧をかけている。ブーストポンプは, 低温時, 油温を上昇させるためにも用いられる。また動的試験では, 高圧・大量の油がアクチュエータに出入りするので, アキュームレータを用いて油圧の変動およびそれにより生じる振動を減少させる必要がある。本試験機では, 送り側に容量 60l, ガス封入圧力 175kg/cm² のアキュームレータ 4 本と, 容量 5l, ガス封入圧力 175kg/cm² のアキュームレータ 2 本を設置している。また, 戻り側にも容量 10l, ガス封入圧力 5 kg/cm² のアキュームレータを 2 本設置し, 所定の波形で動的試験が行えるようにしている。

2.3 付属装置

本試験機は, それ自体大型試験体の静的および動的試験を行うものであるが, 脆性亀裂伝播試験, 十字引張試験を行うための付属装置を有している。脆性亀裂伝播試験としては, 通常, 2 重引張試験, ESSO 試験が行われるが, 前者用として容量 1 000t と 200t の 2 基の引張試験機があり, 後者用として衝撃打撃装置がある。1 000t 引張試験機の主な仕様を表 2 に示す。本機は, 8 000t 構造物引張試験機に平行に門型クレーンに懸架して, 2 重引張試験装置として用いるばかりではなく, これを直角方向に設置することにより, 十字引張試験を実施することが可能である。ESSO 試験用衝撃打撃装置は, 封入ガス圧を用いたものであり, 小さなスペースで大きな衝撃エネルギーを得ている。

3. 関連設備

8 000t 構造物引張試験機を用いて実験を行うには試験体が大きいので, 種々の設備を設け実験およびその準備の便を図った。

表 2 1 000t 試験機の主な仕様

容 量	引張荷重 1 000t
構 造	横 型 ピンジョイント負荷方式 500t アクチュエータ 2 台
ピ ン 間 距 離	2 重引張試験時 600, 1 000mm 十字引張試験時 2 000, 3 000mm
最大ストローク	200mm (有効 150mm)
最大ラム速度	21mm/min

3.1 溶接設備

8 000t 構造物引張試験機はタブに通したピンを介して負荷する構造をとっているため, 試験体とタブとの溶接は不可欠のものである。このタブ溶接以外に, 種々の溶接法による試験継手を作製する目的で, 被覆アーク溶接機, サブマージアーク溶接機, エレクトロスラグ溶接機およびエレクトロガス溶接機を備えている。特に, タブ溶接を実施する際に, 試験体とタブを同時に回転させる反転装置を設け, 試験体に無理な荷重がかからないよう配慮している。反転装置はポジションとしての機能も備え, タブと試験体相互間の位置決めにも使われる。

3.2 試験体冷却装置

試験体の脆性破壊発生試験, 脆性亀裂伝播試験を行うには, 試験体を低温に保持する必要がある。試験体が小型の場合, その冷却は冷却箱を試験体側面に設置する方法などによって比較的容易であるが, これが大型になると, 作業上, 上記方法では困難となり, また液体窒素を用いて冷却するには作業者の酸素欠乏といった問題も考慮する必要がある。そこで, 試験体の冷却をできるだけ遠隔操作で, かつ自動的にできる装置を開発した。図 6 に冷却装置の概略系統図を示す。これは, 屋外に設けた液体窒素タンクからパイプを通じて送られてくる液体窒素を, 電磁弁の先に取り付けたスプレーノズルから噴霧することにより試験

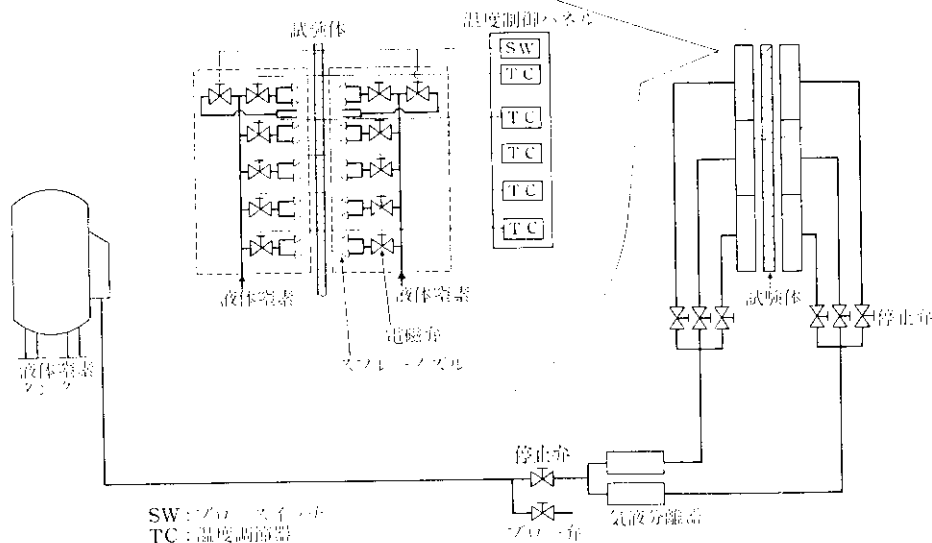


図6 試験体冷却装置概略図

体を冷却するもので、ノズルの位置に対応した試験体表面に液体窒素が直接かからないように熱電対を点溶接し、これにより測定される温度を温度調節器に送り、ここで設定した冷却温度と比較して電磁弁を開閉する機構になっており、自動的に試験体を冷却し設定温度に保持することが可能である。

4. 結 言

当社技術研究所の 8000t 構造物引張試験機お

よび関連設備の概要について説明した。本試験機を用いることにより、従来の比較的小型の試験機では実施できなかった大型試験が可能となったので、大型構造物の耐破壊特性の的確な把握に取組んで行きたいと願っている。

最後に、本試験機の設計製作に際し、常に開発的思考をもって御協力いただいた東京衡機製造所(株)に、また試験体冷却装置の開発に全面的な御協力をいただいた東洋酸素(株)に深甚の謝意を表する。