



水エネルギーの利用と現状技術

「HYDROSTATIC PIPE TESTER」高水圧技術をコア とした応用例

株式会社山本水圧工業所 福村 卓巳・田中 守

1 はじめに

水は、液圧駆動の作動流体として18世紀末から使用されていたが、機器の性能向上を計る上で20世紀初頭に油に代わった。しかし、油のもつ強い燃焼性、漏洩時の環境保護より再び水圧技術が注目されている。水は、環境に優しく、安価で廃棄が容易な流体であり、火災などの危険性が無いことである。自然環境との完全な融和という観点からは、水以上に優れた流体は存在しない。当社は、「HYPREX」の下で「FORM」「TEST」「JET」「easy」全ての商品群が高水圧技術をConceptにした製品である。「FORM」は、塑性加工により製品を製作する装置で主加工法は、金型内にセットした金属管に高水圧を発生させて金型にならって塑性を行い複雑形状の製品を得る成形方法でハイドロフォームと言う。管の液圧成形は自動車の閉断面構造部材の成形にも適用し得る技術として世界的に注目され、“チューブハイドロフォーム”と呼ばれるようになった。究極のエコカーを目指して技術革新を行っている、その一つが自動車の軽量化による燃費改善で有る。チューブハイドロフォームは、車体の衝突安全性向上と軽量化の両立を可能とした技術であり、この技術は、パイプ曲げ技術、プレス技術、高圧発生技術の3要素が備わっていないと出来ない加工法であるが、弊社はこの3要素を全て自社で設計・

製作が行える。

「TEST」は、高水圧技術による水圧試験で、様々な製品のニーズに応える水圧試験装置である。その一つとして、燃料電池自動車（FCV）の燃料となる水素1kgで約100km走行可能よりガソリンなどの内燃機関動力車並みに航続距離を500km程度まで延伸するために5kgの水素を搭載する必要があり、常温体積に換算すると56m³となる。搭載可能とする為には水素を70MPa以上の高圧充填する高圧水素容器が必要となり、より高圧化・高容量化が要求され同時に、高圧ガス容器としての認証が必須事項となっている。弊社は、「燃料電池自動車用高圧水素容器安全評価試験装置」の一つとして「水加圧試験装置」でサイクル疲労試験、加圧破裂試験などを特有の水圧技術で評価試験装置の製作を行っている。

また、シェールガス革命によりエネルギー事情が大きく変わろうとしている。シェールガスは地下数百～数千メートルの頁岩層（シェール層）と呼ばれる硬い層に含まれているガスで、非常に浸透率が低い。このガスを効率良く採取するために、1坑井当たり3,000～10,000トン、水圧140MPaもの水を送り込む水圧破碎によって坑井に人工的に大きな割れ目をつくる。更に頁岩層に接している坑井の表面積を最大にするために水平坑井掘削技術という技法で3,000mもの長さの横穴を掘らねばならない。この様な

過酷な条件で掘削するためには、高強度のパイプが求められ、日本でなければ出来ないとさえ言われている。このパイプの強度を確認する方法の一つが、水圧試験でありパイプに規定の内圧を加えて、漏れ、破壊の有無を全数検査している。当社が80年の間蓄えてきた高圧技術が様々な業種に生かされているが、本稿では「TEST」の一例の「鋼管水圧試験機」につき紹介する。

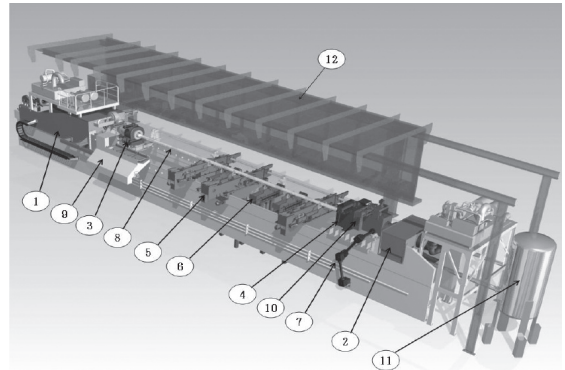
2 水圧試験機概要

本装置はシームレス又はERW長尺パイプの漏れ、耐圧試験を目的としたもので1954年八幡製鉄所に1号機を納入してから16ヶ国280台の実績があり、以下の特徴を有す。

- ① 182MPaの高圧でテストが可能
- ② 独自のExtra gaps packingにより無接触でパイプ出し入れが出来る
- ③ シール時の接触面積が大きく、はみだし現象が少なく長寿命
- ④ 先端ねじ保護用プロテクター付パイプのテストが可能
- ⑤ 乱尺パイプの連続テストが可能

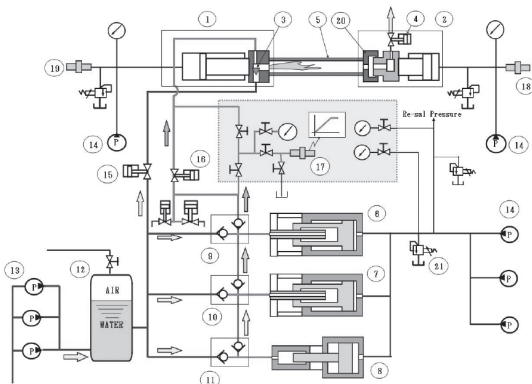
⑥ 昇降クランピングキャレッジにより段取換えが不要

本体概要システムは第1図に示す通りである。試験パイプはヘッドストックとテールストックにセットされたツール間で挟まれ、試験パイプに水を満たすため低圧送水が行われる。サイクルタイムによっては送水時間を短くするため、送水タンクにエアークを送り込む。パイプ内の残留エアはサイクルタイムに大きな影響を与えるため、送水と同時にエアの排出を行う。パイプが満水になれば送水チェック弁が閉じられ、増圧機より高圧水を送り込むが、省エネとサイクルタイム短縮のため、圧力レンジに応じて増圧機を選択している。昇圧と同時に試



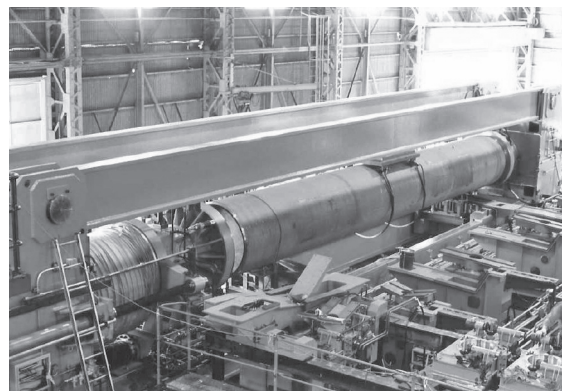
1	ヘッドストック	5	ハーフクランプ	9	水切装置
2	テールストック	6	ハーフリフター	10	テールヘッド
3	ツール	7	シーベルジョイント	11	送水タンク
4	ツール	8	テストパイプ	12	安全カバー

第2図 装置本体全景



1	ヘッドストック	8	低圧増圧機	15	低圧送水弁
2	テールストック	9	高圧吸排弁	16	高圧送水弁
3	送水チェック弁	10	中圧吸排弁	17	試験圧力検出器
4	エア抜き弁	11	低圧吸排弁	18	Cyl, 圧力検出器
5	試験パイプ	12	送水タンク	19	Cyl, 圧力検出器
6	高圧増圧機	13	水圧ポンプ	20	ハーフシヤCyl,
7	中圧増圧機	14	油圧ポンプ	21	試験圧力調整弁

第1図 概略システム図



第3図 大径管水圧試験の状況

験圧力センサーで直接パイプ内部の圧力を検出し、フィードバックを掛けながら試験圧力まで昇圧、指定時間保持された上で漏れ、耐圧の確認を行って終了となる。実機ではパイプ先端シールが外径シールの場合は、パイプ肉厚断面積に試験圧力が加わり大きな座屈荷重となるので、クランプ装置を具備しパイプの長さに応じて、数箇所クランプを行っている。又、必要以上の外的圧縮荷重を加えないようバランスシリンダーを具備している。第2図は装置本体全景の一例、第3図は大径管の水圧試験状況である。

3 仕様

機種はパイプ径で仕分けされ概略第1表のような仕様となるが、石油輸送用パイプなどは2mを超えるものがある。小径ではプレーキチューブ、原子力用細管、飛行機など高精度加圧水圧試験を必要とし、試験圧が220MPaを越えるものなどがある。

水圧試験機においてはパイプ断面積に試験圧力が加わるため、大きな反力が発生する。特に第5図に示す④カップリング付、⑤⑥先端アプセットパイプは更に大きな反力が作用し、フレーム形状はこの反力を受けとめながら、ライン

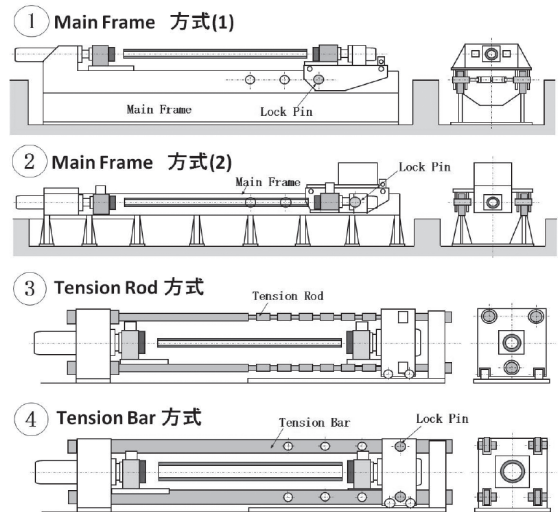
第1表 パイプ径による概略分類 (参考)

小径管水圧試験機	
パイプ径	60.3~177.8mm
パイプ長さ	5.5~14m
試験圧力	71.5MPa
生産数	156p/h
中径管水圧試験機	
パイプ径	168.3~426mm
パイプ長さ	4.5~14.7m
試験圧力	168MPa
生産数	109p/h
大径管水圧試験機	
パイプ径	508~2032mm
パイプ長さ	9~18m
最高試験圧力	47MPa
生産数	46p/h

の組み方などにより選択され第4図に示す通りであり、その特徴を第2表にまとめる。

第2表 各フレームの特徴

図	利点	欠点
1	① Pipeの搬送がスムーズ ② Tool Changeが容易	① 偏荷重が加わる ② Main Frameが重くなる。
2	① Main Frameセンターに荷重が加わる ② Main Frameの重量が少ない	① 試験Pipeの搬送で落とし込みがある ② サイクルタイムが長くなる
3	① Main Frameに比べ基礎工事費用節約	① Tension Barの接続と撓み対策
4	① Main Frameに比べ基礎工事費用節約 ② 大径管用に適している	① Tension Beamの現地溶接と撓み対策 ② Toolingの交換が不便

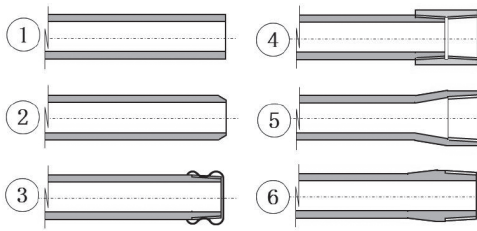


第4図 フレーム形状による分類

4 試験パイプ

試験パイプの先端形状は第5図に示すように用途によりいろいろあるので、形状毎に特徴を下記にまとめる。

- ① プレーンエンド：一般的にはこの形状がほとんどであり取扱が容易。
- ② 開先加工：石油ラインパイプ等は現地で溶接されるため、予め開先加工がされており、先端部までの水圧試験が求められる

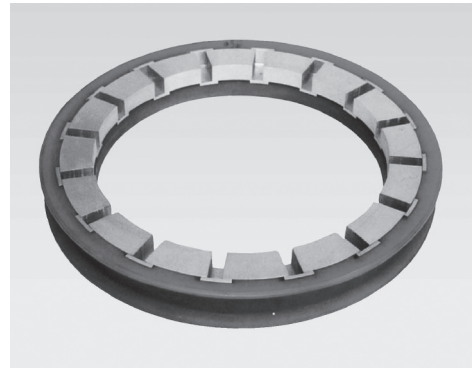


第5図 試験パイプ形状

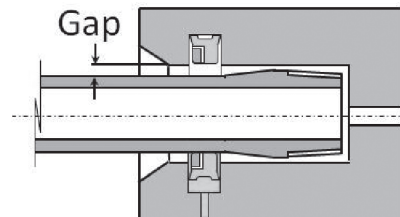
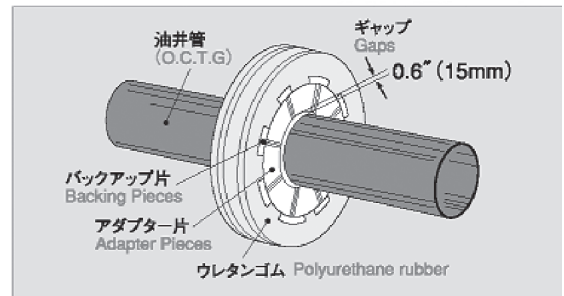
る。又、先端の断面積が小さいため、潰れて加工硬化を起こさないよう反力を精密にコントロールする必要がある。

- ③ プロテクター付：石油、ガス等掘削のパイプは先端に特殊なねじが加工されているが、搬送中にねじにダメージを与えないよう、プロテクターが取り付けられている。このプロテクターを付けたままでの水圧試験が求められ、5項に示す当社のシール技術が生かされている。
- ④ カップリング付：石油、ガス等掘削には短いパイプを長い場合では10kmもカップリングでジョイントされる。現地での作業簡略化のためカップリングを付けた状態での水圧試験が求められるが、カップリング断面積にも試験圧力が加わるため、カップリング押さえ装置を付加している。
- ⑤ アプセットボックスねじ：先端部をアプセットし内径側にねじが切削されている。カップリング方式よりねじ切削箇所が少なく、漏れる確率も減少するが、径が大きくなった分大きな反力が発生するため、アプセット押さえで反力を防ぐこともある。
- ⑥ アプセットピンねじ：⑤とセットで使用されるが、シール部がアプセット部にはないため、アプセットを超えた飛越シールを行う。これも5項に示す当社の技術を持ってしないと出来ない。

- ① 端面シール：バルブ水圧試験機等のようにフランジを有している場合に用いられるが、パイプ肉厚断面積は一般的に口径に対して小さく、シール寿命も短いので一部の採用に留まっている。
 - ② 内径シール：座屈荷重が発生しない利点があるが、内径の大きさに制限があるため、大径管に用いられる。
 - ③ 外径シール：座屈荷重が発生するが、取扱が容易なこと、径に制限がないため主流となっている。
- この項では外径シールを取り上げて説明す



第6図 E.G.シール外観



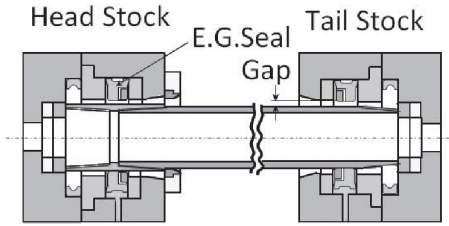
第7図 Seal Extra Gaps飛越シール使用例

5 試験パイプのシール

パイプのシール方法には下記三種類あり

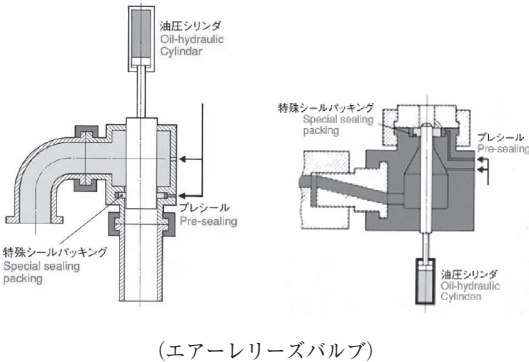
る。試験パイプは黒皮のままで尚且つ、許容外径公差の下で水圧試験を行うため、リップタイプ（パイプに常に接触する）のシールでは搬

入、搬出時肌荒れした表面を移動するため、極めて寿命が短くなる。然し、当社が開発したE.G.シーリングユニットは無接触の移動が出来、使用液体の中のわずかなゴミでもシール効果は変わることなく耐えるため、飛躍的に寿命を延ばせる。

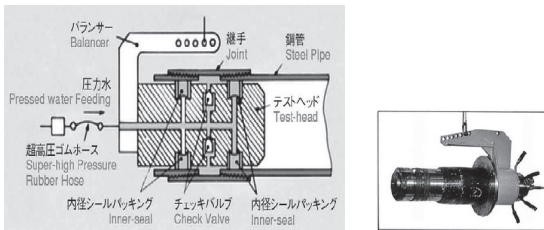


第8図 E.G.シール使用例

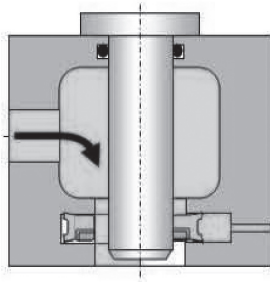
E.G.シール（第6、7図参照）の使用方法は、先ずシールの外径側に圧力を入れ、外径を縮めてパイプに接触させた後、試験圧を入れる。シールは圧縮によって保持されるため、肌荒れ、多少の付着物が有っても、シール材で抑え込まれるため確実にシールされる。第8図は片側カップリング付試験パイプの場合の一般的な使用例であるが、試験パイプとE.G.シール間のギャップは片側で15mmと非常に大きい。この事を利用すれば第7図に示すように、飛越シールが可能となる。又、E.G.シールの他の応用として第9図示す。応用例①のようにバルブスピンドルを抜き差しシールすることで異物噛み込みの少ない、エアー抜きバルブ、送水バルブに应用している。②のように内径用E.G.シールをカップリングねじからの漏れを検査するのに应用した例、隙間が大きく楽にシールポンチを挿入することができる。③は、ギャップの断面積が大きいことを利用して、このギャップに流体を通しシールを開閉することで、ON-OFFバルブとして使用できる。



第9図-① E.G.シールの応用例



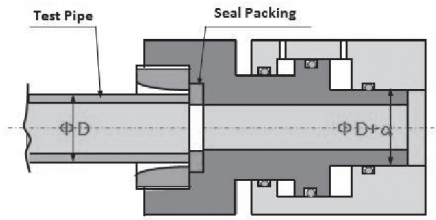
第9図-② E.G.シールの応用例



第9図-③ E.G.シールの応用例

6 バランスシリンダー

試験パイプ径が大きくなると肉厚断面積に比べて、内径断面積が圧倒的に大きく、反力ばかりが大きくなる。このことは肉厚断面積に加える荷重制御の精度を悪くし、座屈、端面の潰れなどにつながる。そこで第10図に示す概念図のように外径Dより少し大きい ($D+\alpha$) 径のラムシリンダーを設け、ラムに導水口を開けてバランスシリンダーとする。試験圧力は導水口を介してラム端面に加わり、パイプ端面に加わる力量はD径分相殺され α 分のみが端面に加わる。この α 分の力量は油圧でコントロールされる



第10図 バランスシリンダー概念

が、力量が小さく経済的であり、フルスケール精度が大幅に改善される。

また、油井管等の試験圧力を高めることによってシールパッキン部分における滑りが増加し、シールパッキンの寿命が低下するという問題点があるがバランス制御によりテストパイプ内の水圧を検出して相応の作動油をメインシリンダー内に送り込むフィードバック制御にて、パッキン部分の移動量（ずれ）が激減し、シールパッキンの寿命が大幅に改善され。パッキンのコストが削減されると同時にパッキン交換に伴う設備停止、取替え工数などが削減されて生産性が大きく向上する優れた効果を発揮する。

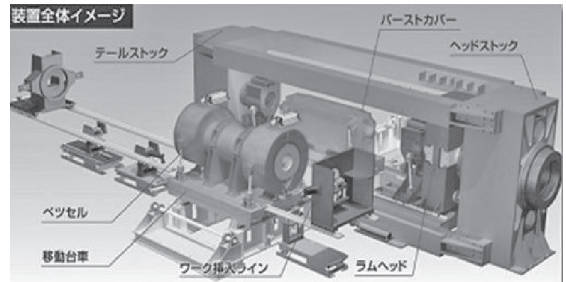
7 その他の水圧試験機

石油井戸、ガス井戸掘削、搬送などにはパイプにとっては過酷な条件での使用が課せられる。これらの条件のもと強度が耐えるのか、条件に合ったいろいろな試験が行われている（第11、12図）。この分野でのパイプにおける当社の主な実績試験機を下記に示す。

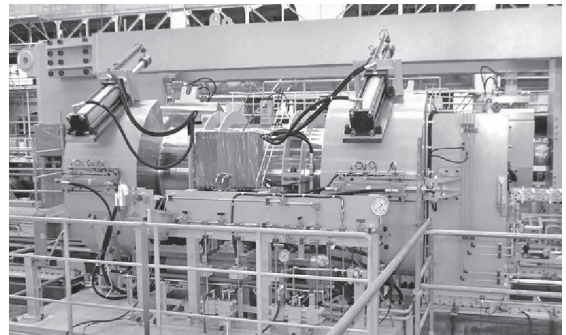
- ① 300MPaバーストテスト装置：内圧によって破裂確認
- ② 300MPaコラプテスト装置：外圧によって圧潰確認
- ③ 内圧負荷してのベンディングテスト装置
- ④ 内圧負荷しての圧縮、引張テスト装置
- ⑤ 外圧負荷しての圧縮、引張テスト装置
- ⑥ 高低温サイクル下で内圧を負荷するサーマルショックテスト装置
- ⑦ サーマルクエンチショックテスト装置：加熱されたパイプに水を掛ける熱衝撃テ

スト

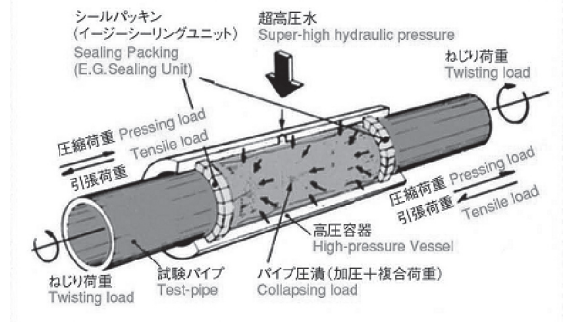
- ⑧ 高低温サイクル下での300MPaガスリークテスト装置
- ⑨ 高温外圧下でのコラプテスト装置
- ⑩ ねじの強度確認と破断テスト装置
- ⑪ ねじリークテスト装置
- ⑫ ねじりテスト装置
- ⑬ ねじの締め付けトルクと回転数テスト装置：パワートング
- ⑭ 純モーメント下での疲労テスト装置



第11図 装置イメージ



試験イメージ



第12図 試験イメージ

8 おわりに

燃料電池自動車の燃料となる高圧水素容器の安全性評価試験及びシェールガス革命が起こり、掘削パイプに使用されるシームレスパイプの強度、品質の重要性が高まり、API規格(American Petroleum Institute)の改正も行われた。強度、品質を守る最後の砦が、直接圧力を加え性能を確認するのが水圧試験である。

引き続き、「環境に優しい水を活かした技術」で高圧水技術をConceptとし、「高圧技術とシーリング技術」の高精度化を高めて各産業の省力化、ハイグレード化、安全性の向上により寄与できれば幸いで有る。

著者紹介

田中 守

(株)山本水圧工業所 営業・技術統括 本部長
〒561-0835 大阪府豊中市庄本町2-8-8
TEL : 06-6334-4652
E-mail : tanaka-m@hyprex.co.jp

福村 卓巳

(株)山本水圧工業所 顧問
〒561-0835 大阪府豊中市庄本町2-8-8
TEL : 06-6334-4652