

石油プラットフォーム撤去工事（第2報）

前田博志*, 伊藤建爾**, 加納俊彦***, 新藤孝志***
武石文暢***, 西田 佑***

石油、天然ガス等の採取の為にプラットフォーム（P/F）は作業完了後は海底面に何も残さぬ様に完全に撤去する事になっている。

新潟東港沖約15km、水深約90mの所にあったP/Fを、1993年6月に切断発破を実施し撤去した。

この種の作業は我国では初めてである。この工事の概要は本誌274号に（第1報）として既に報告した¹⁾。

今回は、我々が行った工場内での基礎実験、及びそれにより決定した使用爆薬の種類、薬量、形状、起爆システムの確認の為に実物規模のフィールド実験をここに第2報として報告する。

1. はじめに

このP/Fは水深約90mの所に設置され、石油を採取するためのコンダクターパイプ10本、云々ゆるP/Fの脚に相当するメインパイル8本、メインパイルを支えるために、海中から斜めに海底に打ち込まれているスカートパイル4本から成っている。この計22本をそれぞれ海底面下約5mの所で爆破切断するための火工品を開発した。

その切断対象物の鋼管規格は、第1報に記した。

2. 火薬類の開発

2.1 火工品

今回使用される火工品は、石油P/Fの脚であるメインパイル及びスカートパイル切断用の火工品と採油用のコンダクターパイプ切断用の火工品の2種類の火工品である。

これらの切断用火工品に要求される条件は次の通りである。

- (1) 切断位置は、水深95mで海底面（EL-90m）下5mの場所。
- (2) 海底面下のため内部装薬であり、水中切断となる。
- (3) 環境に与える影響（魚介類）をできるだけ少なくするため小薬量であること。
- (4) パイル切断用火工品の外径は、 $\phi 1,100\text{mm}$ 以下とすること。
- (5) コンダクターパイプの切断面のめくれは小さいこと。

以下に2種類の火工品の開発経過を報告する。

2.1.1 パイル切断用火工品

実機サイズの実験結果から、バルクチャージでは無理と判断しシューブドチャージ方式（以後S.Cと記す）で進める事にした。設計目標を水中スタンドオフ（以後S/Oと記す）180mm（開発途中で130mmに変更）で50mm厚のパイルを切断することに検討を行うことにした。

今回の火工品は、水深約100mの水中で、しかも内部装薬であるために次のような問題点がある。

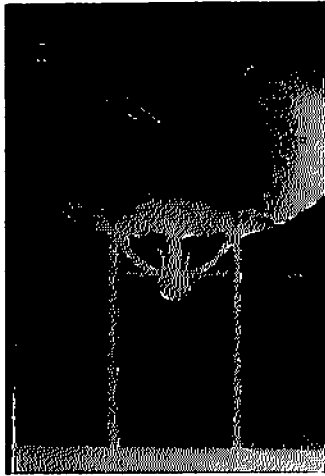
- (1) ライナー部に水がある場合はジェットが形成されない。ジェットが形成される空間が必要である。
- (2) 180mmのS/Oでの切断に必要な爆薬量の確認。
- (3) 内部装薬のため火工品の形状をドーナツ状にする必要があり、高い精度が求められるライナーの曲げ加工が必要がある。その製造の可能性。
- (4) 火工品の容器こみの重量が大きくなるため、貯

1994年12月6日受理

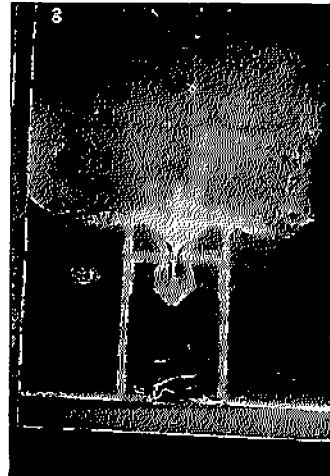
*新日本製鐵(株)鉄構海洋事業部
〒100-71 東京都千代田区大手町 2-6
TEL 03-3242-4111
FAX 03-3275-5970

**中国化薬(株)
〒737-21 広島県安芸郡江田島町
TEL 0823-44-1244
FAX 0823-44-1312

*** (株)カコー
〒101 東京都千代田区神田西福田町 4-1
TEL 03-3255-7786
FAX 03-3255-7778



P.S.C (a)



V.S.C (b)

Photo 1 Jet performance elemental test2

蔵、輸送及びハンドリング等の問題があり分割する必要があるが、分割数及び分割部での鋼材の切断は可能か？

(5) 分割した場合の起爆方法はどうか？

これらの問題点を各要素に分け、それぞれについて小実験を実施して実機の火工品の設計を行い、実機モデルの実験でパイルを確実に切断できることを実証する方針とした。

通常、S.C.では、ライナー形状はV型のものを使用するが、今回の火工品には下記に示すような利点が考えられることからパイプ形状のライナーを採用した。

- (1) V型と比較して、パイプベンダー等により曲げ加工が容易であり、大型の火工品の容器の製作が可能である。
- (2) パイプの半円面で、ノイマン効果を得ることが可能であり、パイプの中空部分でジェット成長が可能である。また、コンカルの半球ライナーの場合は高S/Oで性能を発揮する。
- (3) パイプのため、大きな水圧(1MPa)に耐えられる。

以下に各要素実験、実機モデル実験の結果を報告する。

2.1.1.1 要素実験1 (フィージビリティテスト)

パイプライナー方式のS.C(以後P.S.Cと記す)で上記の設定が成立するかどうか、又パイルの切断が可能かどうか、及び、銅、鉄、アルミの材質を検討した。そこでP.S.Cで水中切断が可能であり、銅が最良であるとの結果を得た。

2.1.1.2 要素実験2 (ジェットの形成可視化実験)

P.S.Cと比較のためにV型のS.C(V.S.C)を使用して、

気中でのジェットの形成状況及び下部パイプをジェットが通過するときのジェットの状況についてフラッシュX線を使用して観察した。(Photo 1)

その結果

(a) P.S.C

- a. 非常に太い安定したジェットが観察された。
- b. 下部パイプをジェットが通過後、パイプが溶融されジェット先端を包んだ状態で丸くなって進行している。
- c. ジェットの先端速度は約2,600 m/secで比較的遅い。
- d. 侵徹量は50mmで安定している。(n=3)

(b) V.S.C

- a. P.S.Cと比較してジェットが細い。
- b. 遮蔽板通過後、楕円状にジェット先端が包まれた状態で進行している。
- c. ジェット先端速度は約3,600 m/secでP.S.Cより速い。
- d. 侵徹量は50mmである。

従って、本実験の結果から火工品容器の製造性等を考慮するとP.S.Cが有利であると判断された。

2.1.1.3 要素実験3 (スケールアップ実験)

水中S/O180mmで50mmのターゲットを完全に侵徹させるために、S.Cの形状、銅パイプの径及び肉厚をパラメーターとして実験を実施し、径、肉厚を決定した。

2.1.1.4 要素実験4 (接続部確認実験)

実機サイズの火工品の重量は約150kg程度になり、運搬、貯蔵を考慮すると火工品を分割する必要がある。この場合、ジェット形成空間を確保するためにパイプの両端面を4mm以上の銅板で塞ぐ必要がある。この

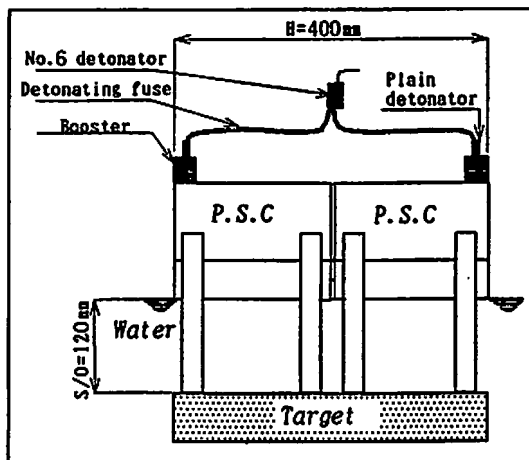


Fig. 1 Diagram of experimental method elemental test4

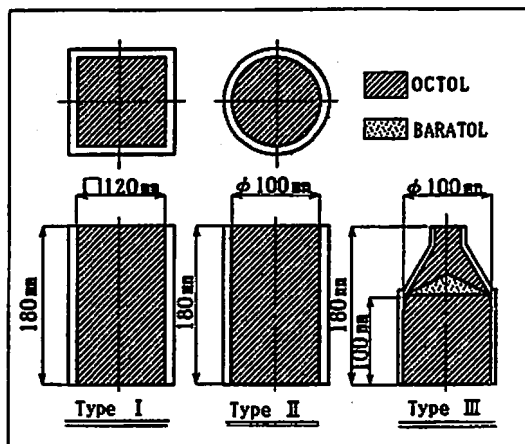


Fig. 3 Types of booster elemental test5

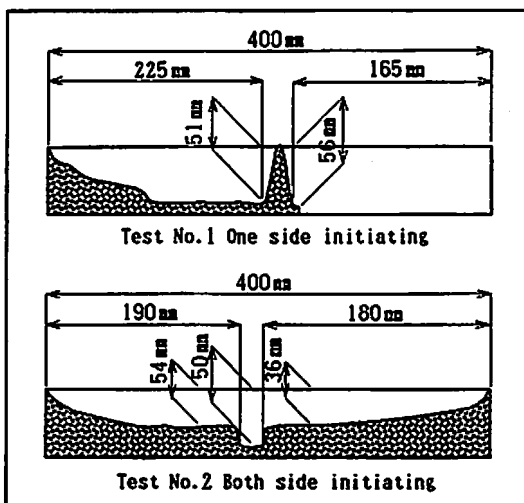


Fig. 2 Results of penetration by initiating method elemental test4

部分はジェットが形成されない。この対策として、接続部で爆轟を衝突させることを検討し、成立するかどうかについて実験により確認した。

(1) 供試試料

要素実験3で使用したφ100mmのP.S.Cで200mmLのものを使用し、銅パイプの両端に4mmの銅板を溶接した。

(2) 実験方法

P.S.Cのセット状況をFig. 1に示す。本実験は2回実施し、Test No. 1では、20gのテトリルブースターを図の一方の位置にセットして片側起爆とし、Test No. 2はP.S.C両端上部にブースターを図のようにセットし、導爆線により両端同時起爆とした。

(3) 実験結果及び考察

実験結果をFig. 2に示す。本実験の結果から下記の成果が得られた。

- (a) Test No. 1では、片側のP.S.Cから他方へ殉爆させた結果を示しており、接続部の下部は約20mmの幅で侵徹されていない。
- (b) 起爆側のP.S.Cはブースター下部からオクトールが定常爆速に立ち上がる部分の侵徹量が低下している。これは、20gのテトリルブースターの起爆力が弱いことが考えられる。
- (c) アクセプター側のP.S.Cの下部の侵徹量はすぐに60mm以上に達しており、強い起爆力で全面起爆をすると非常に有効であることが分かる。
- (d) Test No. 2の両端同時起爆では、P.S.Cの爆轟が衝突する中央部分の侵徹量が30mmの幅で大きくなっている。

以上の結果から、接続部下部の切断は爆轟を衝突させることで成立することが分かり、実機での分割は可能であることが確認された。

2.1.1.5 要素実験5 (ブースター確立実験)

これまでの試験を通して、ブースターの影響が大きい事から3種類のブースターを試作して以下の実験を行い実機に適用するブースターを選定した。

又、本実験ではφ120mmのP.S.Cの形状を今まで実施してきたストレート形状と実機の曲率(R=515mm)に合わせたR形状のものを使用した。これは、実機の場合火工品は内部装薬になり、発生するジェットは外側に分散する方向に進行し、侵徹量の低下が予想されるためにこの点を含めてブースター部の仕様を検討することにした。

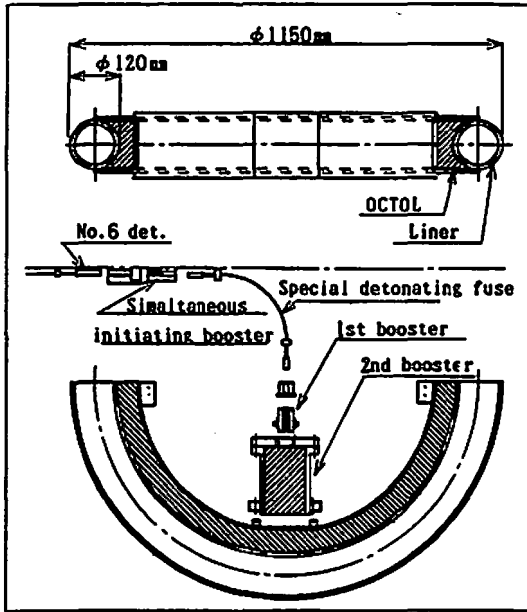


Fig. 4 Specimen of full scale size experiment2

(1) 供試試料

3種類のブースターの形状をFig. 3に示す。ブースターⅠは、P.S.Cの幅に合わせた角パイプを使用したもの、ブースターⅡは内径φ100mmに加工したパイプを使用したもの、ブースターⅢはφ100mmの爆薬レンズでレンズ部分には巴拉トール(硝酸バリウム：TNT=72：28 爆速4,600 m/sec)としたものを使用した。

(2) 実験結果

- (a) ブースター下部の侵徹量についてP.S.Cの形状で比較すると、形状により大きく影響され、ストレート品に較べてR品ではかなり侵徹量が低下することが確認された。
- (b) ブースタータイプでは、R形状品についてはⅠ>Ⅱ>Ⅲの順で侵徹量が大きくなっている。このことから、P.S.Cのブースター下部の侵徹量の低下をなくするためには、P.S.Cの幅と同程度の大きさのブースターで全面起爆することが有利であることが分かった。

2.1.1.7 実機モデル実験

ブースター部に製造上の問題点がある事が分かり、ブースター部を一体型から分離型に改良し、P.S.Cの外径をφ1,150mmにしたものを使用して、再度実機モデル実験を実施した。

(1) 供試試料

試作したP.S.Cの構造をFig. 4に示す。本実験では、図に示すように、両端に伝爆用のブースターを

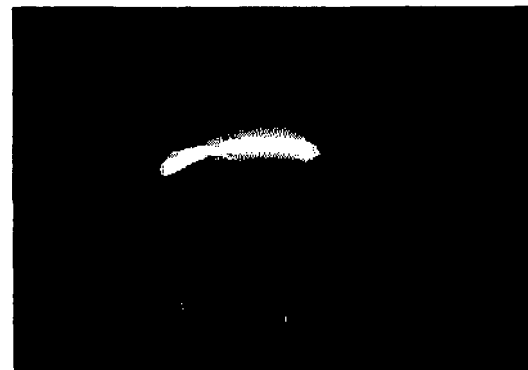
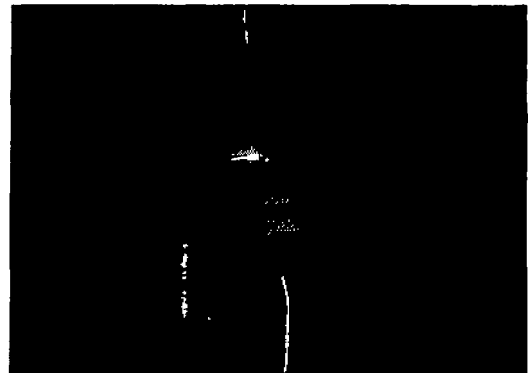
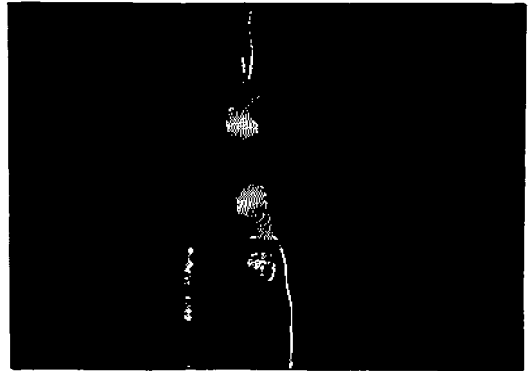


Photo 2 Simultaneous initiation at both ends and detonation front collision at middle of the dynamite cartridge

200,000fps

(Courtesy K.Katsuyama
Fracture Mechanics

and Explosives Lab.)

装着し気密構造とした特殊導爆線を試作し、海面下95mの実機で想定される火薬系列を用いてP.S.Cを同時起爆した。

(2) 実験方法

実験はP.S.Cのセット位置を変えて2回実施した。

1回目は、センタリングを想定してP.S.Cをほぼ中

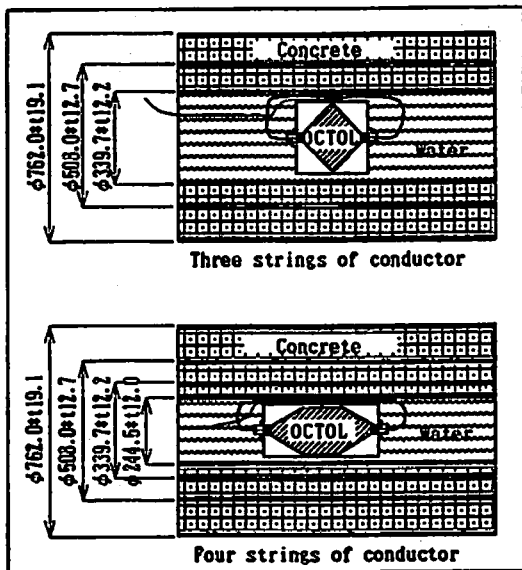


Fig. 5 Specimens and experimental method full scale size experiment 2

心にセットし、2回目は、プースター下部が最大のS/Oになる最悪ケースで実験を実施した。

(3) パイルの切断状況

2回の実験とも切断され又接続部で爆轟が衝突し、侵徹状況も良好であり、今回採用した起爆系列が有効であることが確認された。

本実験の結果より、本工事で考えられる最も厳しい条件でもパイルの切断が可能であり、又、後から述べる保持装置によるP.S.Cのセンタリングを適用することでほぼ100%切断可能であることが確認された。本実験でパイル切断用火工品の開発を終了した。

2.1.2 コンダクターパイプ切断用火工品 (以後C.S.Dと記す)

C.S.Dの実機モデル実験を2回実施して、両端起爆式にする事にしたので、それについて述べる。

2.1.2.1 実機モデル実験2 (注、実験1は省略する)

実機実験の結果、切断面をザクロ状に拡げない切断をするには、小薬量でしかも影響の出る装薬長を短くしてやることが有効であると判断して、下記に示すような紡錘型両端起爆のC.S.Dを設計した。(Photo 2)

(1) 供試試料

試作したC.S.DをFig. 5、試作した内容をTable 1に示す。

紡錘型と比較のための円筒型12.5kgのC.S.Dを実験条件に加えた。

(2) 実験方法

パイプの中央にセットし、内部に水を充たし、地中に埋めて起爆した。両端起爆は2本の導爆線及び工業雷管を使用し、C.S.Dの両端に取り付けたPETN 44gのプースターを起爆した。

(3) 実験結果及び考察

実験結果をTable 2に示す。本実験結果から下記の成果が得られた。

- (a) 3重管、4重管それぞれ紡錘型C.S.D 14.5kg、12.5kgでほぼ希望通りの切れ口で切断が可能であった。しかし、最外層のパイプには若干の切れ残りの部分がある。
- (b) 3重管と4重管を比較すると、3重管の方が切れにくく爆薬量で約2kg程度の違いがある。切断断面積よりパイプの空間容積の方が切断性能に大きく寄与しているようである。
- (c) 円筒型と紡錘型のC.S.Dを比較すると、予測通り紡錘型の方が切断性能が優れていた。4重管の場合で、円筒型12.5kgと紡錘型10.5kgとが切断状況がほぼ同じであった。

Table 1 Conditions of full scale size field experiment 2

Test NO.	Kind of casing	Type of C.S.D	Amount of OCTOL	C* (g/cfd)	Initiating method
1	Three strings	Cylinder	12.5kg	12.7	One side
2		Spindle	10.5	10.3	Both sides
3			12.5	12.7	
4			14.5	15.0	
5	Four strings	Cylinder	12.5	14.3	One side
6		Spindle	10.5	11.7	Both sides
7			12.5	14.3	
8			14.5	16.9	

■ Coefficient of blasting (L=C×A)

Table 2 Results of full scale size field experiment2

Test NO.	Severed yes no	Results of severing conductor casing		
		state of spread	A side	B side
1	×	—	Experiment failure (without water)	
2	×	—	Not severed 1/2 round of outside string	
3	×	—	Not severed 2/5 round	
4	○	1260×1200	Good	Not severed 310mm of outside string
5	×	—	Not severed 1/2 round	
6	×	—	Not severed 1/3 round	
7	○	1180×1300	Good	Not severed 130mm of outside string
8	○	1200×1350	Good	Not severed 530mm of outside string

本実験結果より、本工事で使用するC.S.Dの形状は紡錘型に決定し、3重管、4重管用の薬量をそれぞれOCTOL 16.5kg, 14.5kgと決定した。爆薬量を2kg上乗せしたのは、本工事の場合は確実に切断することが要求され、又、水圧、土圧が実験の場合より厳しいためである。本実験でコンダクターパイプ切断用火工品の開発を終了した。

(4) 荷姿 (UN対応)

本火工品もP.S.Cと同様に危険物容器検査をA方式で受験した。

3. 括 め

パイプ及びコンダクターパイプ用に2つの火工品(実質的には成型爆薬)を作製するため、工場実験と実規模のフィールド実験を行った。

各要因に予想外の結果が現れ、それを1つずつ試行錯誤を重ね実用品の用途をたてた。

パイプ用にはドーナツ型のシェードチャージにしたが、

・耐水・圧、加工性を加味して、銅パイプのライナーとした。

・大型になるため、2分割したが、その継ぎ目は、ジェットが出ずパイプの切断が出来ない。そのため、2ヶ所での同時起爆により爆轟波を衝突させる事によって解決した。

・意外に起爆点のジェット形成が上手く行かず、プースターの影響が大きい。薬種、薬量、形状を検討して解決した。

3, 4重管のコンダクターパイプ用には両端同時起爆の紡錘型爆薬にした。

これらの型式の爆薬の実用化は我国では初めてであろう。今回のプロジェクトに対する実験で多くのknow howを得る事が出来た。

文 献

- 1) 前田, 伊藤, 加納, 新藤, 武石, 石油プラットフォーム撤去工事(第1報), 工業火薬, Vol.54, No. 6, 1993

Pile and conductor pipe severing by blasting for offshore oil drilling platform removal at Niigata prefecture Japan. (II)

by Hiroshi MAEDA*, Kenji ITO**, Toshihiko KANO***, Takashi SHINDO***
Huminobu TAKEISHI*** and Tasuku NISHIDA***

We described a summary of this operation on the previous journal.(Vol.54,No.6,1993)

At this issue,a small scale laboratory experiment and full scale size field experiment to decide a specifications of the main explosives,booster,their shapes and initiation systems has been described.

As a result,we adopted two types of explosives units for this operation.One was a shaped charge of Octol(HMX+TNT)attached copper pipe liner for severing pile,another one was a spindle-shaped Octol which is initiated at the both ends of the charge simultaneously with special detonating fuse for detonation wave head should collide at the center of the charge.

(*Marine construction & Engineering Div. Nippon Steel Corporation 2-6-3,
Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-71, Japan

**R&D Section II Chugoku Kayaku Co.,Ltd. Etajima-cho, Aki-gun,
Hiroshima 737-21, Japan

***Kacoh Co.,Ltd. 4-1, Nishifukuda-cho, Kanda, Chuo-ku, Tokyo 101,
Japan)