

水中発破の衝撃圧を受ける海底鋼管の挙動に関する研究 (第1報)

発破設計

和田 満 穂*

水中の岩盤に爆薬を使用して掘さくするとき、その周辺に鋼管が布設されておれば、衝撃波によって鋼管がどのような挙動をするのか、あるいはまた、その実際の施工に際し、鋼管が十分に安全な状態を維持して、破壊することがないようにすることができるかどうかを解析しなければならない。ところが、衝撃波によって鋼管がどう挙動するのかを調査した例は勿論のこと、鋼管に対する衝撃波の大きさをどこまで許容するかを判断し、この値を掘さく作業の設計に折込んだ例がない。

今回、実際の作業でその必要性が生じたため、鋼管挙動とその許容値について実務的に実験を行い、工事を安全に確実に施工することができたので、報告する。

本報告は、(1)発破設計、(2)模型による実験、(3)実験結果の解析と考察、の3報告に分けられる。発破設計は、実際の発破を実施するに当たり、確実に施工する発破を設計し、必要な薬量を算出することである。第一報は実際の施工条件について述べ、この条件を直接陸上の岩盤掘さくにあてはめて施工した結果から、実際に必要な薬量の決定を行った報告である。

1. 緒言

海底岩盤を掘さくするのに、硬岩であれば水中発破工法が採用される。この場合、掘さく部に近接して各種の鋼管が敷設されていることがあり、いたずらに作業を進めれば、海底鋼管に重大な損傷を与えかねない結果となることがある。本報告は、水中発破の衝撃圧を受ける海底鋼管の挙動に関する研究であるが、海底鋼管に近接した発破に際し、知らねばならない鋼管の挙動に関する研究を目的として行われたというよりは、むしろ、実際に作業を推進するために必要となったために行った実務研究の結果をまとめたもので、第一報は陸上発破の結果等から得た、発破設計を中心として述べる。

2. 海底鋼管の布設環境

2.1 地質概要

研究が行われた地点は、近年急速に港湾施設の整備、拡張が進められている臨界工業地帯の一隅である。布設された海底鋼管が海底岩盤の関係で所定処置に沈設できていないため、その部分の岩盤を除去する必要があるが、しかもその除去範囲がある程度の大きさを有するため、その除去には発破工法の適用が最適であると

判断された。

掘さくする岩盤は第三紀の砂岩、および土丹層である。土丹層は、一軸圧縮強度(自然乾燥)で平均48.9 kg/cm²、超音波伝播速度 V_p は 1710m/sec、 V_s は 740m/s、見掛比重が平均1.64、動的ポアソン比 $\mu=0.4$ 、動弾性係数平均 2.73×10^4 kg/cm²、静弾性係数が平均 8.97×10^3 kg/cm² であり一般にいう軟岩である。海底地形は起伏に富み、侵蝕谷を形成し、水深は5~15mに変化する。

2.2 影響を受ける海底鋼管

海底鋼管の布設延長は1600mであるが、この布設してある海底鋼管の近傍で発破すべき箇所は2ヶ所である。海底鋼管は圧力流体輸送用パイプ32B、10B、8B、6B、の四種類であるが、これらは一箇にまとめられていて、12m間隔でスチールバンドで締付けられ、海底に架設されている。布設パイプの仕様を Table 1 に示した。またパイプの布設状況を Fig 1 に示す。岩盤発破位置は図に示された地点(1)および(2)である。布設されている配管用鋼管の代表的なものの、許容応力度¹⁾を Table 2 に示す。海底鋼管が海中で受ける応力は複雑であるが、永久変形をおこす原因となると考えられるのは下に示した夫々の応力である。水中発破によりパイプに働く応力は外圧応力として検討する。

a) 内圧による応力

b) 外圧による応力

昭和55年1月14日受理

*大成建設(株)土木部

〒160-91 東京都新宿区西新宿 1-25-1

Table 1 Characteristics of the pipe materials

material	thickness of pipe mm	Quality of material	Description of pipe coating	Second Moment of Area of pipe			
				Ix (cm ⁴)	Yo (cm)	A (cm ²)	Yo ² A (cm ⁴)
10B	10.5	SGP (JIS G. 3452)	Double coating of asphalt and vinylon cloth	6,290	64.0	75.41	312,752
32B	12.7	STPY41 (JIS G. 3457)	—Ditto— mortar coating 85 mm	256,000	10.6	319.2	35,856
8B	8.2	SGP	Double coating of asphalt and vinylon cloth	1,110	75.6	35.26	201,524
6B	7.1	SGP	—Ditto—	2,910	102.6	53.01	558,024

$\Sigma A = 586 \text{ cm}^2$ $\Sigma \bar{I}x = \Sigma Ix + \Sigma Yo^2 A = 0.01819 \text{ m}^4$

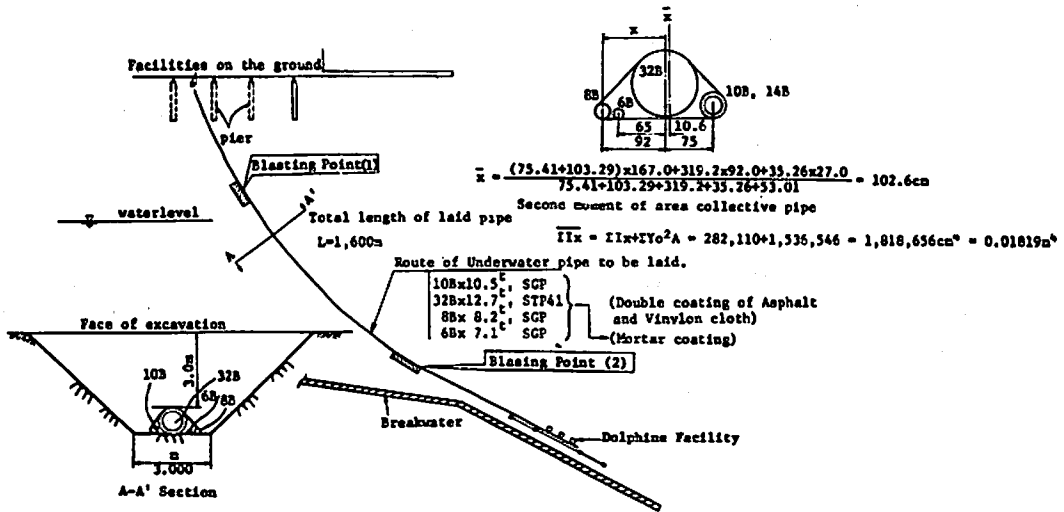


Fig. 1 Outline of construction Area

Table 2 Stress of steel pipe

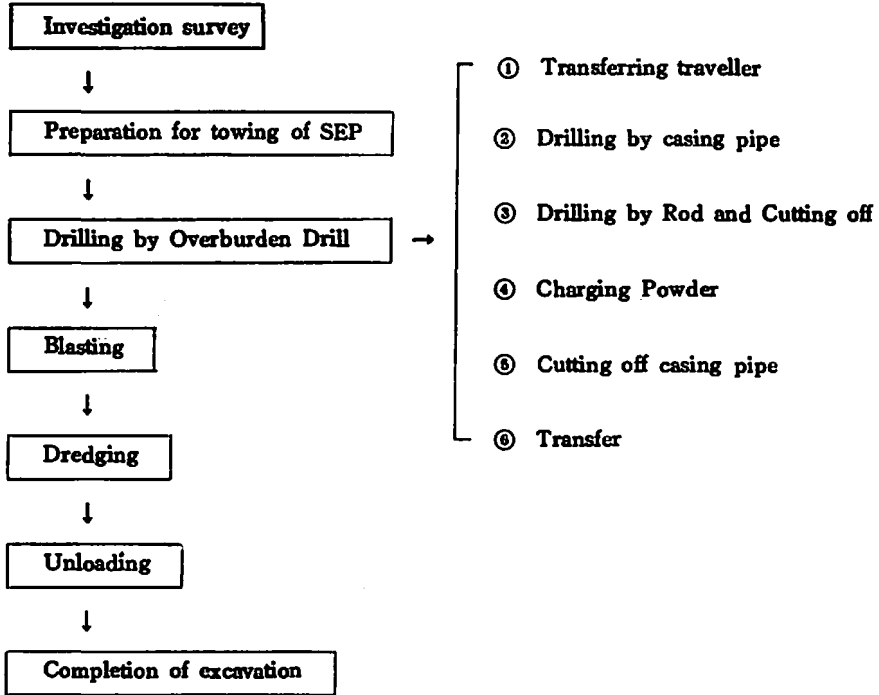
Steel pipe		Min tensile strength (kg/mm ²)	Min yield point (kg/mm ²)	Permissible stress (kg/mm ²)			
				Tension and compression	Shearing	Supporting pressure	composition
JISG3452 Carbon steel pipe of Originally piping	SGP	30	—	7.2 (12.9)	4.4 (7.7)	10.0 (18.1)	16,2
	2nd class STBG 38	38	22	11.0 (19.8)	6.6 (11.8)	15.4 (27.7)	19.8
JISG3454 Carbon steel pipe for pressure of originally piping	3rd class STBG 42	42	25	12.5 (22.5)	7.5 (13.5)	17.5 (31.5)	22.5
	STPY 41	41	23	10.3 (18.6)	6.2 (11.2)	14.4 (26.0)	20.7

Value in () is permissible stress of pipe laying (extra coefficient 1.8).

- c) 地盤の不等沈下による応力
 - d) 温度変化による熱応力
 - e) 波浪、潮流による応力
 - f) 敷設時の応力
3. 海底鋼管付近の岩盤の掘さく

3.1 施工の手順

水中せん孔発破は次のサイクルで行われる。すなわち二重管による回転打撃式せん孔機²⁾ (Overburden Drill) を作業船²⁾ (Self-Elevation Platform) に搭載してせん孔することから行われる。



3.2 施工機械

3.2.1 作業船「SEP—かいこう」

作業船としてSEP—かいこう²⁾を使用した。その仕様は次のものである。

主要寸法 ; 35m×20m×3.4m(ジャッキング装置付)

上載荷重 ; 350t×70t(吊荷重)

主要発電機 ; 125KVA, 100kW, 220V

移動トラベラ; 19m×4m×1.43m

3.2.2 せん孔機

アトラスコプロ社製の二重回転打撃式 O. D. せん孔機²⁾ (Overburden Drill), BBE—53型 2台を12mのせん孔用タワーに架設した。このせん孔機の仕様は次のものである。

全長	875mm
重量	250kg
シリング径	120mm
ピストンストローク	65mm
打撃数	2200回/分
回転力	140kg-m

使用空気圧力 6kg/cm²

クロスビット径 102mm

リングビット径 153mm

3.3 施工法

布設パイプには、安全上、ブイが取付けられた。そのブイを目印にSEPを曳航し、アンカ作業で所定位置に設置し、SEPのスパットを降して固定する。固定後は、SEPのトラベラを移動し、せん孔準備に入る。

海底管を所定位置に設置するために、必要部分の岩盤を掘さくしなければならない。また、それに先立ち布設パイプが吊上げられ、発破作業の影響をできるだけ受けたくないような対応策がとられる。

隠しい発破作業ではできるだけ自由面を有効に使う必要があるため、Fig 2 の(b)のごときトレンチ掘削を、可能な限り、布設パイプの近くで実施した。トレンチ掘削にはグラブ船を使用した。この場合、その能力や機構が影響するが、深さ約6m幅5.0mが確保されて自由面となった。せん孔発破によって予定の岩盤を起砕し、波濙船で波濙後、再びSEP²⁾等によって吊上

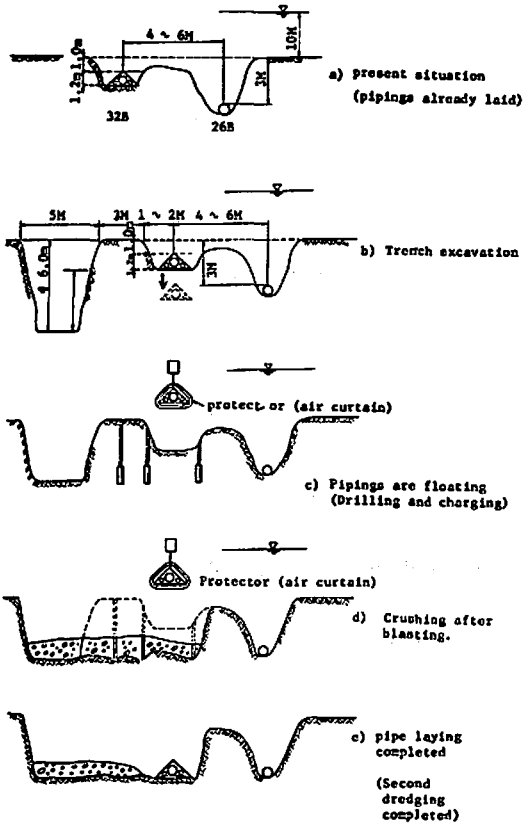


Fig. 2 Diagram for working process

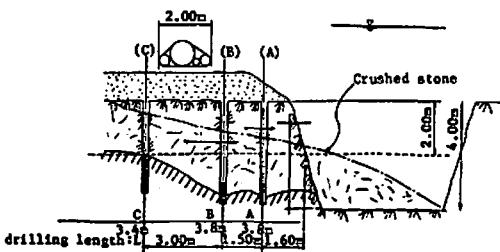


Fig. 3 Cross sectional view of standard drilling and charging

げられていたパイプを元の位置に戻し、作業を完了した。施工の次第図を Fig 2(a)~(e)に示した。

4. 発破設計

4.1 標準せん孔パターン

水深が14~15m付近の海底岩盤の掘削であり、しかもパイプ類に接近した発破なので失敗が許されない。そこで、必要な透性せん孔パターン、装薬量を決めねばならない。布設パイプの幅だけで2m、その下部の岩盤を直接掘削しようとする、発破によりパイプを損傷する恐れ

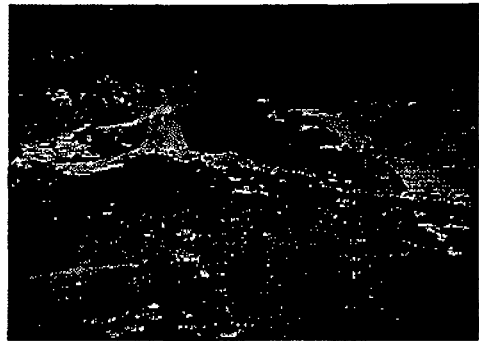


Fig. 4 Situation of field test on the ground

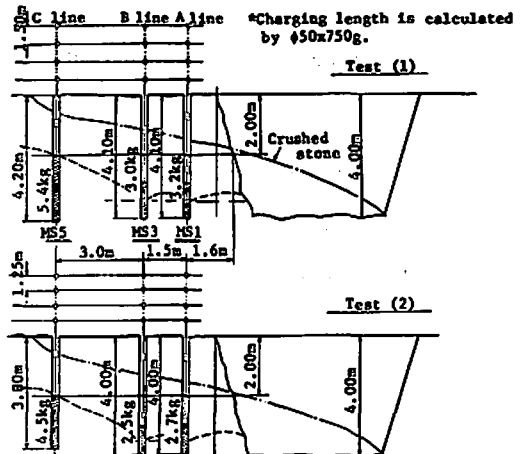


Fig. 5 Pattern of field test on the ground

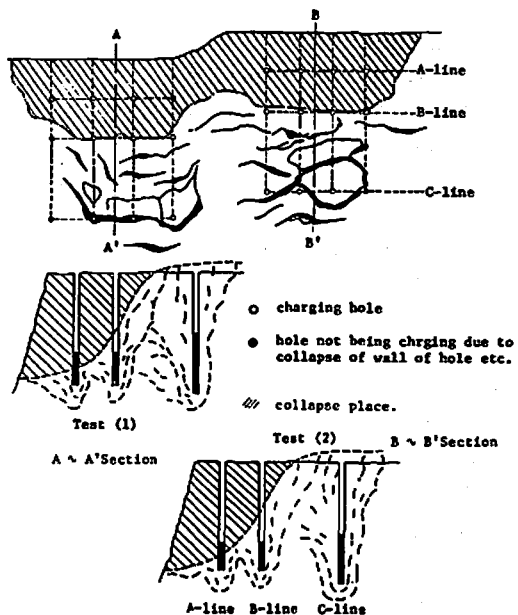
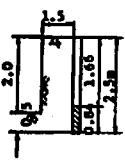
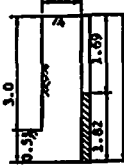
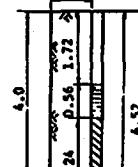


Fig. 6 Crushed situation after best blasting

Table 3 Drilling and blasting designing chart

		(a)	(b)	(c)	
		V=E=1.5m Bench height K=2m	V=E=1.5m Bench height K=3m	V=E=1.5m Bench height K=4m	
Designed length of Burden : Vmax (m) = v+0.1+0.03k		1.66	1.69	1.72	
$k = \frac{K}{V_{max}}$	k < 2.0	1.2	1.775	2.33	
	k > 2.0	(Low bench)	(Low bench)	(Normal bench)	
Charging amount per m : tb (kg/m)		2.5	1.8	Bottom charge 1.17	Column charge 0.425
Volume of charge. : Qb (kg) ; {(K-Vmax)-0.3Vmax} x tb		2.1	3.3	2.62	0.238
required drilling length: H(m); H = K+0.3Vmax		2.498	3.51	4.52	
- Note - permissible charging (amount per m 3.443kg/m)					

がある。したがって発破は、海底でも、一自由面発破よりもベンチ方式が望ましいので大型グラブ船かパイプに影響なく接近できる位置にトレンチ溝を掘り込み、溝方向を自由面にとる水中のベンチ発破を計画した。標準のせん孔パターンは Fig 3 のようになり、せん孔は A, B, C の 3 列の垂直せん孔方式とした。

パイプから 3.0m に接近してグラブ船がトレンチするため、トレンチ面が自由面となり、A 列までの抵抗線は 1.6m、B 列を 1.5m とした。しかし 3 列 C については、パイプ幅が 2.0m もあり、さらにせん孔によってパイプに影響しないようにするため、3.0m の最小抵抗線を設けなければならなかった。

4.2 ベンチ高さの決定

グラブ船でトレンチする高さがベンチ高となるが、この高さの決定にはグラブ船の機構、経済性などを考え、いたずらに高くはできないので、バケットの 1 回の掘削高さとして 4.0m とした。ベンチ高さ 4m は Langefors のいわゆる低ベンチであるので、Langefors の低ベンチ設計⁽⁴⁾⁽⁵⁾に従い、装薬計算を行った。

4.3 装薬量

装薬量を計画するにあたっては、施工条件特にせん孔を考慮しなければならなかった。

その条件は次の通りである。

- | | |
|----------|----------------------------------|
| (1) せん孔徑 | d=70mm |
| (2) 装薬度 | P ₀ =0.9kg/dm(70mmの時) |
| 薬徑 | φ=55mm(3.443kg/m) |

	C	Burden W(m)	hole distance D(m)	bench height H(m)	charging amount L(kg/hole)	charging length t (cm)	Notes
A	0.3	1.5	1.25	2.25	1.27	51	powder ; 50 mmφx750g(^{sp.gr} _{1.4~1.45})
A ₁	0.45	1.5	1.25	2.25	1.90	76	
B	0.3	1.5	1.25	2.25	1.27	51	
B ₁	0.45	1.5	1.25	2.25	1.90	76	
C					1.00	100	30 mmφx100g(") [L=C·W·D·H]
C ₁	0.35	3.0	1.25	4.2	4.50	180	

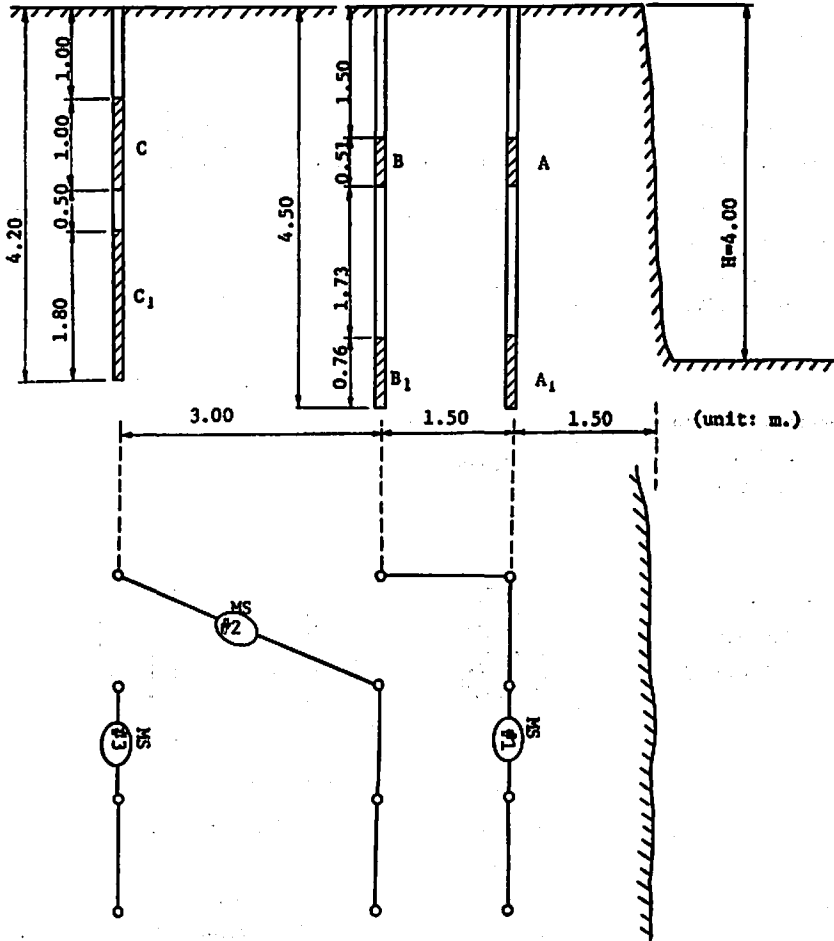


Fig. 7 Decided pattern

- (3) 岩石定数 $c=0.4\text{kg/m}^3$
(4) 孔間隔と抵抗線長比 $E/V=1.0$
(5) 抵抗係数 $f=1.0$
(6) 爆薬強度 $S=1.0$

Table 3 は装薬量を決定⁽⁴⁾⁽⁶⁾したものであり、表中の a 項がベンチ高を 2 m, b 項は 3 m, c 項は 4 m と

した場合である。

表で見られるごとく、a および b 項では k 値が 1.2 および 1.775 となり、2.0 以上の低ベンチ発破となり、一自由面発破に近くなる。装薬径が 55mm なので、必要な薬量を確保するとなれば底部の装薬長が充分とれなくなる。c 項では k 値が 2.33 となり、通常のベンチ発破が成立するし、理想値に近くなる。そこでベンチ

高さは4mせん孔径を70mm, 装薬径を55mmとした。

4.4 陸上試験による発破設計の確認

実際的水中発破に先立ち、設計したパターンで、陸上で試験発破を行い、破碎状況、飛散ずりの方向性などを、確認することにした。これは水中発破パターンを、忠実に、陸上に置換えることを目的とした。陸上試験では、現場の岩盤に近い条件を得るため、圧縮強度500~800kg/cm²の岩盤地帯を選んだ、火薬は2号板、雷管はMSを使用し、孔間隔を1.25, 1.50mとして他の条件を同じにした2つのパターンを採用して行った。Fig. 4.5 にそのパターンと破碎の状況を示した。

発破の結果を見ると、穿孔長に対してデッキチャージの必要があることが判った、またC列では、目的とする破碎に対し、薬量の不足が見られるので、薬量の修正が必要であることがわかった。Fig. 6 にその起砕状況を図示する。

4.5 実発破のパターン決定

陸上試験の結果から実際に用いられるパターンを決めるわけであるが、海底鋼管の布設状況を考慮し、これに、デッキチャージとC列の岩盤が十分に前面に押し出し得る薬量を考慮して、Fig. 7 に示めすごとく、実際の場合の発破パターンを決定した。

5. 結論

海底鋼管の挙動に関する発破作業ではあるが、確実な発破設計が得られねばならないわけである。その意味から実際の掘削状況に合せて設計し、これを確認してみる必要があったが、やはり陸上試験の結果から

1) 夫々デッキチャージを行い、a列, b列では1.27kg/孔, が上部装薬量となり, 1.9kg/孔 が下部装薬量に必要となった。

2) C列では、同じくデッキチャージを行い、上部装薬量が1.0kg/孔, 下部装薬量が4.5kg/孔必要となり全体で5.5kg/孔となった。

この薬量を使用して、海底鋼管の近くで施工することになり、実際にどのように鋼管が、発破によって挙動するかを解析していくことになる。

陸上試験は日本ロックエンジニアリング㈱が施工されている現場で行われた。紙上で厚くお礼申し上げたい。

文 献

- 1) 石油パイプライン技術基準省令及び告示 昭47. 12 昭48. 9
- 2) 鈴木明人, 和田清穂 “新しい海底発破工法” 建設の機械化 74. 4
- 3) M. WADA, “Underwater Excavation and its Relevant Problems” 1971, Vol. 31, No. 1 Explosion and Explosives
- 4) ULJ Langefors “Manual on Rock Blasting” 6; 05-40/42 15. 11. 1957 Atlas capco AB. Stockholm and Sandviken Jernverks AB. Sandviken
- 5) U. Langefors & Kihlström The modern Technique of Rock Blasting 1978. Third edition.

A Study on the Behavior of Submarine Pipelines under Shock Pressure of Underwater Rock Blastings (I) Blasting Design

by Mitsuho WADA*

When blasting explosive is used to excavate underwater rock where pipelines are laid in the vicinity, it has to be analyzed how the pipelines will behave under shockwave or whether the pipelines can keep on their complete state without collapse.

However, there is no example taking the judged value showing allowance of size of shock wave into consideration and it is not known how the pipelines will behave under shockwave.

This time, we made practical experiments on the behavior of pipelines and

their value of allowance because it became necessary to obtain such facts to execute actual work.

We wish to report the fact that we could perform the work safely and firmly.

This report consists of(1) design of blasting, (2) experiments by model and (3) analysis and study of the results of experiments.

Design of blasting is to design blasting necessary to execute the work firmly when actual blasting is performed and to calculate necessary amount of explosive for the job.

The amount of explosive is obtained from the results of the blasting which was executed by applying actual working conditions directly to rock excavation on shore.

Blasting will be executed by using the calculated amount of explosive at the vicinity of the pipelines laid underwater. Then the behavior of the pipelines will be analysed after blasting and allowable value will be studied from the result of the blasting.

(*Taisei Corporation 1-25-1 Nishi Shinjuku, Shinjuku-ku Tokyo,
160-91, Japan)
