

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2報)

模型による実験

和田 満 穂*

海底鋼管の挙動に関する研究の第2報は、第1報で得られた薬量をそのまま実際の設計に使用するには危険であるため、模型鋼管を海底に布設し、実規模の発破を行い鋼管の挙動を調べた実験の報告である。衝撃圧および至応力の測定は、記録波形としてつかまえた。試験規模はNo.1~No.26におよび、実施面で生ずると考えられるあらゆる発破条件を考慮し、吊し発破、せん孔発破での挙動実験を行った。使用した薬量は、第1報で得られた値をも考慮して決定された。吊し発破では、3kgを最大薬量としたが、インパルスで最大値が $149.4 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 、実規模に近いせん孔発破では、 $158 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ を記録した。衝撃圧は、夫々 $375 \text{kg}/\text{cm}^2$ と $163 \text{kg}/\text{cm}^2$ であった。また至応力の最大値は、 $3,300\mu$ に達した。次報では、これらの挙動解析をもとにして、衝撃圧を受ける海底鋼管の許容値を考察する。

1. 緒言

水中に布設されている鋼管が発破作業によって、どんな影響を受けるかは、重要な関心事である。今回の報告は、鋼管と発破の関係を検討し、設計上の許容値を得ようとするために行った一連の実験のまとめであるが、(1)部では、陸上試験によってそのさく孔パターンを決定した部分を報告したが(2)部にあつては、実規模の模型鋼管を海底に布設し、実際の工事に近い状況下で実験を行った部分を報告する。

2. 吊り下げ発破による海底鋼管の挙動実験

2.1 供試鋼管

海底鋼管は施工時も実際に使用されているので、発破工事で損傷を受けてはならない。そこで、実際の施工に先行して、実物大の模擬鋼管を使用し、発破で発

生ずる衝撃圧力と鋼管応力を測定することにした。鋼管が衝撃圧でどんな挙動を示すかを見るにあたって、せん孔発破と吊し発破の相具を含めて挙動を調べる必要があると考え、まづ吊り下げ発破による挙動試験を実施した。実際には、掘さくが鋼管の真下なので、その下部で発破が行えるように、模擬26B鋼管をFig.1のご

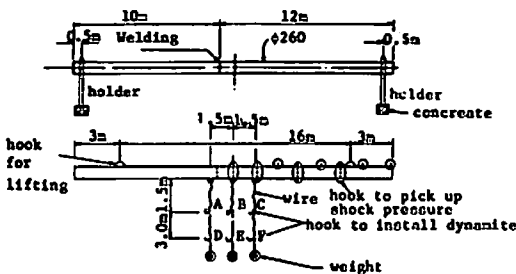


Fig.1 Manufacturing drawing for test pipe

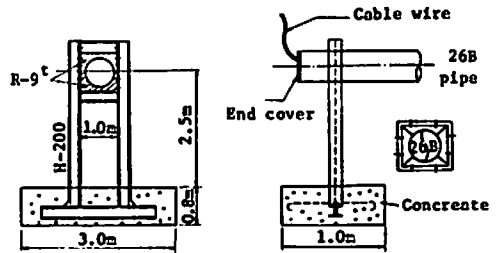


Fig.2 Manufacturing drawing for holder

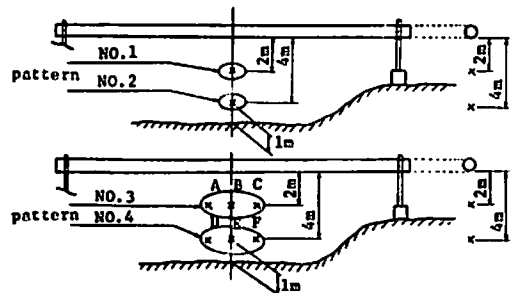


Fig.3 Location for initiating and steel pipe

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

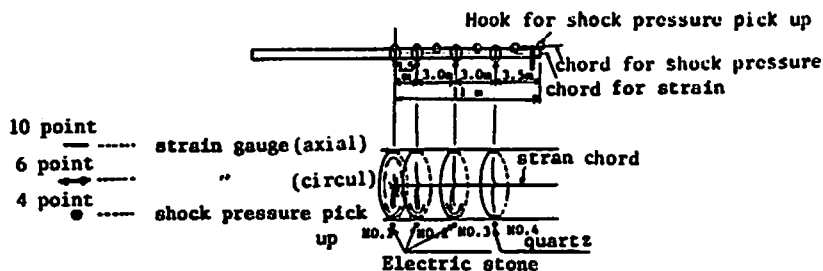


Fig. 4 Location to install measuring gauges

とくバランスを取って水中に架台で設置した。設置架台の下部重量として、鋼管 30kg/m と鈎合わせるため、 $30\text{m} \times 1.0\text{m} \times 0.8\text{m} = 2.4\text{m}^3$ 、重量 5.520kg のコンクリートを Fig. 2 のごとく設置した。

2.2 起爆位置と計測位置

鋼管は下部から衝撃圧を受ける。施工の条件から、その位置は鋼管下部 1.5~3.0m なので、Fig. 1 のごとく、模擬パイプでダイナマイト取り付けフックを設け、Fig. 3 のごとく、パターン No. 1~No. 4 の A, B, C, D, E, F の 6 点に爆薬を取り付けその位置を起爆位置とした。海底地盤までの水深は 7~8m とし、海底からの影響を防ぐため、D, E, F は 1.0m 以上間隔を取るよう設置した。

衝撃圧力と鋼管応力を計測するため、衝撃圧計測ピックアップを鋼管下部に、歪ゲージが軸方向、円周方向になるように、夫々、10点、6点ずつ、Fig. 4 のごとく固定した。この固定は鋼管の設置以前に行われた。

2.3 計測システムと測定

衝撃圧および歪応力の測定は、次のシステム¹⁾で行われた。Fig. 5 は計測である。

計測器数量

1) 圧力計

- ピックアップ; 電気石ゲージ 3 枚, 石英ゲージ 1 枚 計 4 個
- インピーダンス変換器; 4ch 1 台

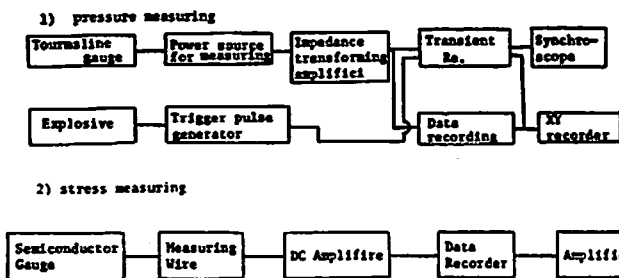


Fig. 5 Measuring room and measuring system.

- トランジエントレコーダー; 1ch (バイオメーション型) 4 台
- データレコーダ; アンボックス型 14トラック 1 台
- X, Yレコーダ; 1 台
- 電線; 60m 同軸ケーブル 240m

2) 応力計

- 半導体ゲージ; クロスゲージ 16枚
- 増幅器; DCアンプ 6ch 3 台
- データレコーダ; 14ch+8ch 2 台
- 電磁オシロ; 12ch 1 台
- 電線; 70ミールドケーブル 1200m



2.4 実験方法

爆薬に日本油脂(株)、海底 2号を採用し、12組の実験を Table 1 に示す順序で実施した。パイプの計測

パターンは No. 1~No. 4 (Fig. 4) で、測定点から爆薬までの距離を 1.5~3.0m、薬量を 50~1,200gr に変化させ、爆薬を決められたパターンに従い起爆させ

Table 1 Testing Item

Test NO	Location of Test pattern	Distance from Blasting(m)	Q'ty of explosive (gr)	Note
1	E	3	50	
2	E	3	200	
3	B	1.5	50	
4	B	1.5	200	
5	B	1.5	50	
6	B	1.5	200	
7	DEF	3	100 × 3 = 300	
8	DEF	3	200 × 3 = 600	
9	DEF	3	300 × 3 = 900	
10	DEF	3	400 × 3 = 1,200	
11	ABC	1.5	100 × 3 = 300	
12	ABC	1.5	200 × 3 = 600	
13	A C	1.5	100 × 2 = 200	25ms Delay
14	ABC	1.5	300 × 3 = 900	
15	ABC	1.5	400 × 3 = 1,200	
16	ABC	1.5	1,000 × 3 = 3,000	

Table 2 Property of No. 2. explosive for seabed blasting.

Specific gravity(gr/cc)	1.45~1.55
Detonation velocity (m/sec)	6,500~7,000
Hess power (mm)	20~22
Expanded volume (c.c)	400~450
Force of explosive (L · kg/cm ² /kg)	9,900
Water proofing	Good
Water pressure -resisting qualities.	—ditto— Blasting is completed in 24hr under pressure of 20kg/m ² .

た。海底爆薬 2号は Table 2 の性能を持つ。

3. 実験結果

実験の目的は、水中吊し発破による衝撃圧と、これによる鋼管歪とを測定して、供試鋼管への影響を確認することであるが³⁾、実験の結果は次の本工事の施工

のために有力な指針³⁾となる。

3.1 水中吊し発破による衝撃圧測定

3.1.1 発破パターンおよび発破位置

Fig. 6 に示すごとき発破パターンで実施された。

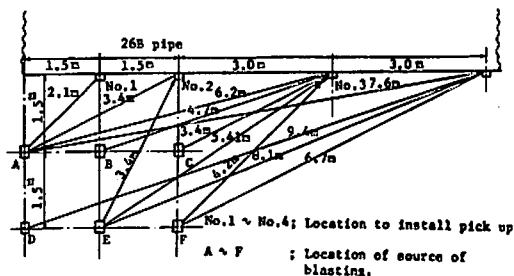


Fig. 6 Distance from center of explosion to measuring devices

3.1.2 水中吊し発破による衝撃圧測定結果

衝撃圧の測定⁴⁾は実験項目 No. 1~No. 16 まで実施したが、測定用ケーブルの絶縁不良などが生じ、実際は No. 2, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 のデータを得ることができた。

実験で得られた測定圧力波形の例を Fig. 7 に示す

Table 3 Results on measuring

Test. (No.)	Pick up (No.)	Min distance (m)		Max pressure (kg/cm ²)		Impulse (kg sec/cm ²)		Q'ty of explosive (gr)
2	2	5.4		27.9		6.90x10 ⁻³		200
9	1	3.0		112.0		43.1		300
	3	4.2		63.8		41.0		x3
10	1	3.0		139.9		48.7		400
	3	4.2		62.1		34.1		x3
11	1	1.5		146.5		30.7		100
	2	1.5		86.7		39.6		x3
	3	3.4		89.3		36.0		
12	1	1.5		318.8		106.6		200
	2	1.5		375.0		149.4		x3
	3	3.4		157.9		63.8		
13	1	2.1	2.1	34.0	21.4	25.0	42.5	100
	2	3.4	1.5	21.3	33.2	28.2	13.2	x2
	3	6.2	3.4	15.9	26.2	9.37	47.4	
	4	7.6	6.2	4.98	7.85	5.93	22.8	
14	1	1.5		161.7		44.2		300 x3
	2	1.5		266.7		136.0		
	3	3.4		116.4		67.8		
	4	6.2		21.9		26.3		
15	1	1.5		208		66.2		400 x3 x3
	2	1.5		143		57.7		
	3	3.4		84.4		51.9		
	4	6.2		22.2		27.5		
16	1	1.5		362		93.7		1000
	4	6.2		29.7		51.9		x3

が、実験で得られた圧力最高値、およびインパルスの値は Table 3 に示される。

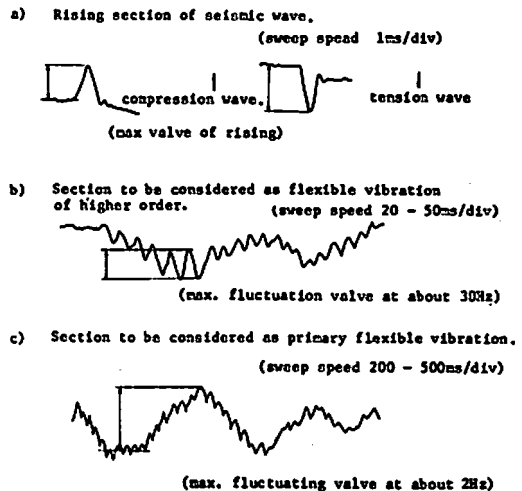
ここで示す圧力値は、校正波形の電圧 (V_c) と測定波形の電圧 (V) より(1)式によって求められた²⁾。

$$p = C_s \cdot E_s / K_s \cdot A \times V / V_c \dots\dots\dots(1)$$

- C_s ; 標準コンデンサー容量
- E_s ; 標準電圧
- R_s ; 校正時の電圧
- p ; 測定圧力値
- K_s ; 電気石ゲージの感度

インパルスは $\int p dt$ であるから、得られた測定波形より面積計により算出した。

Table 3 の中で、実験 No.13 は、段発 25m sec のものを爆源として使っていたので、波形が 2 つに分れたが、Fig.7 の波形(2), (3)の上で、第一ピークから順に決めていったものである。



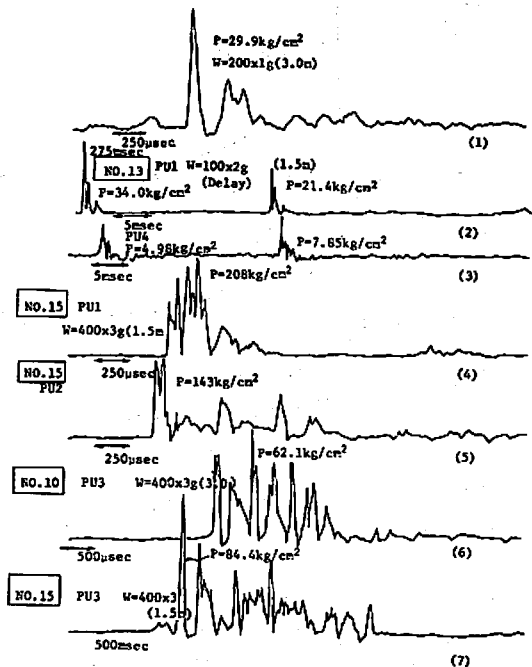


Fig. 7 Example of waves by pressure

3.1.3 水中吊し発破による鋼管の歪測定結果

水中の発破で発生する衝撃波が、その近傍に存在する鋼管にぶつかり、その鋼管が歪みを生ずる。この歪を測定するのに、鋼管内面に半導体歪ゲージを16点貼付け、データレコーダを介して記録した¹⁾³⁾。また記録波形の処理には、データレコーダの記録をシンクロスコープに通し、カメラで撮影した。

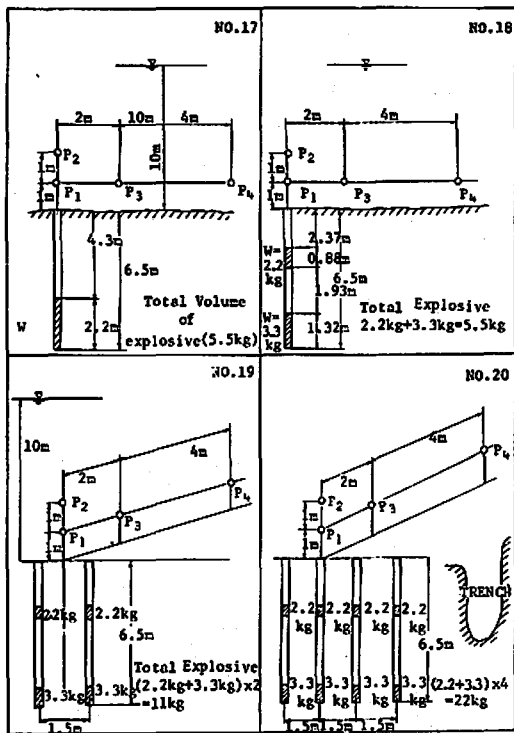
記録波形には3つの周波数成分が現われているので、掃引時間を、原則として、3種(①又は2ms, ②20又は50ms, ③200又は500ms)に分け、写真に撮り整理した。波形の読み取りは①②③の各場合ごとに行い、数値を記した。

データ処理に当って、衝撃波圧到達時の最大歪を円周方向と軸方向に分け³⁾⁴⁾、次に圧力波が到達した後の最大歪も同様に分類した。Table 4は、衝撃圧到達時の最大歪および到達後の最大歪を円周と軸方向別に図示したものである。

4. せん孔発破による海底鋼管の挙動実験

4.1 せん孔パターン

吊り下げ発破の結果得られたデータが本行事の施工にきわめて重要な資料となるが、さらにTable 5の実験項目No. 17~No. 26のせん孔を主とした実験を行なった。



P: location of wick up.

Fig. 8(1) Drilling and charging pattern as well as arrangement of pressure gauge

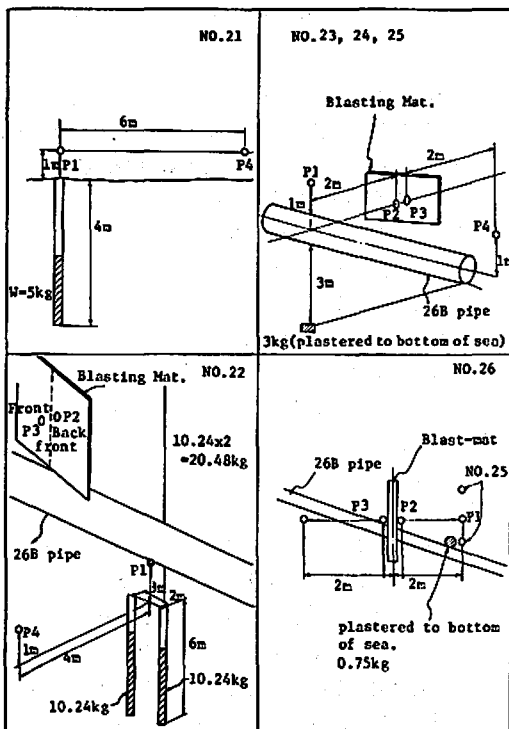


Fig. 8(2) Drilling and charging pattern as well as arrangement of pressure gauge

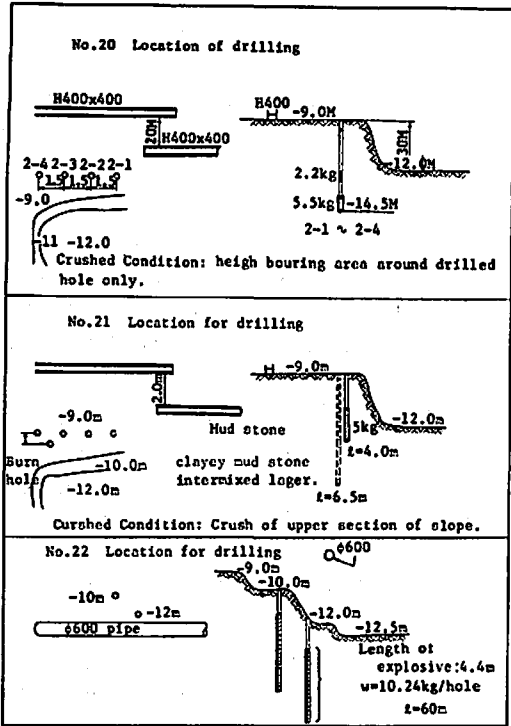


Fig. 8 (3) Drilling and charging pattern as well as arrangement of pressure gauge.

これは、実際の施工に近いせん孔パターンに従ってパイプへの影響挙動を調べたものである。そのパターンは Table 5 である。夫々のせん孔配置計測位置を Fig. 8 に示す。実験 No. 22~No. 26 では、プラストマットを沈設し、その前後の P2, P3 のビックアップでプラストマットの効果を調べた。

4.2 計測結果

4.2.1 圧力値の計測結果

実験項目夫々の圧力値を Table 6 に、また波形を Fig. 9 に示した。但し No. 23~No. 26 の実験は、せん孔作業が施工面から間に合わず、吊り下げ発破の形式となった。

5. 結論

第 1 報の発破設計に引続き、模型を用いて実験を行ったが、実際に施工する状況とできるだけ同じ条件にして、その圧力最高値とインパルスを得た。吊し発破では、3kg を最大薬量としたが、圧力最大値が 375kg/cm²、実規模に近いせん孔発破では 163kg/cm² であった。インパルスでは最大値が夫々 149.4×10⁻³kg・sec/cm² と 158×10⁻³kg・sec/cm² を記録した。また至応力の最大値は 3,300μ に達した。これらの値をもとにして、

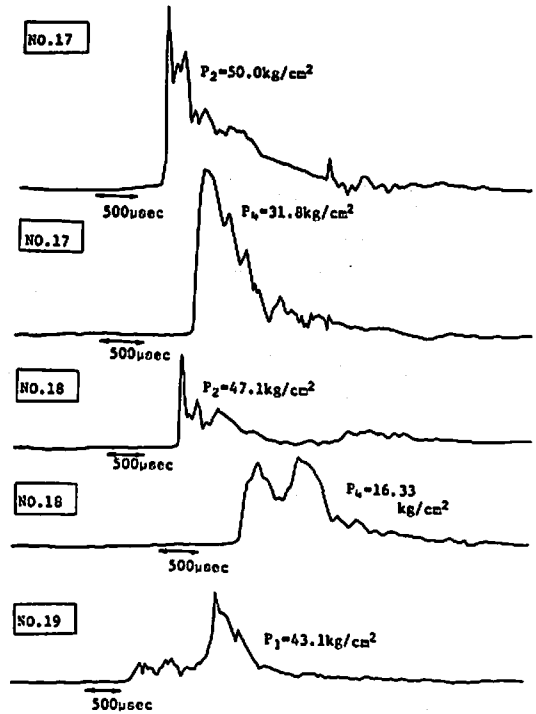


Fig. 9 (1) Examples of measured pressure waves

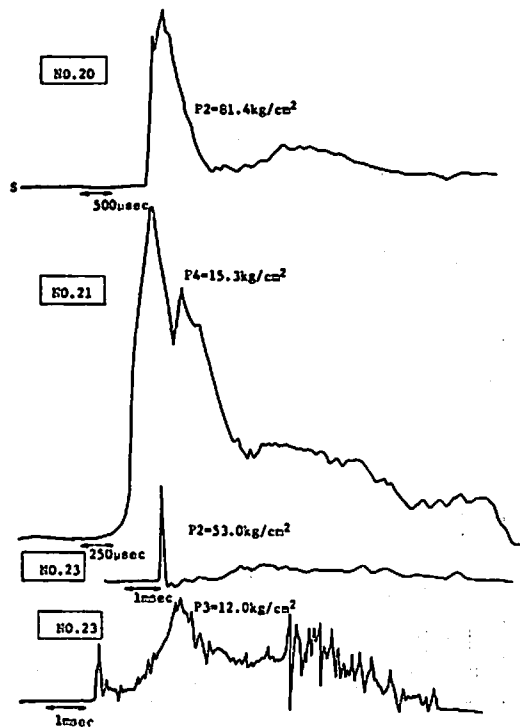


Fig. 9 (2) Examples of measured pressure waves

Table 4-1 strain of steel pipe

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	
Max strain (a) after shock wave has reached. (b)									
Inner shock wave (b)									
Qty of explosive	50g	200g	50g	200g	50g	200g	100gx3=300g	200gx3=600g	
Estimated value	Max value of shock wave	50kg/cm ²	80kg/cm ²	120kg/cm ²	190kg/cm ²	120kg/cm ²	190kg/cm ²	(65kg/cm ² , 175kg/cm ²)	(80kg/cm ² , 230kg/cm ²)
	Time constant of shock wave	55μsec	80μsec	45μsec	65μsec	45μsec	65μsec	65μsec	80μsec
Impulse	kg. sec/cm ² 0.0275	0.0064	0.0034	0.0124	0.0034	0.0124	0.0114	0.0184	
Date	4.26 12:15	4.26 12:55	4.27 17:15	4.27 17:55	4.29 12:15	4.28 12:55	4.28 17:15	4.28 17:55	

Table 4-2 Strain of steel pipe

NO.	9	10	11	12	13	14	15	16	
Max strain (a) after shock wave has reached. (b)									
Inner shock wave (b)									
Qty of explosive	300x3=900g	400x3=1200g	100x3=300g	200x3=600g	300x3=900g	400x3=1200g	100x2=200g	1000x3=3000g	
Estimated value	Max value of shock wave	270kg/cm ²	300kg/cm ²	330kg/cm ²	430kg/cm ²	510kg/cm ²	350kg/cm ²	180kg/cm ²	850kg/cm ²
	Time constant of shock wave	85μsec	93μsec	55μsec	65μsec	75μsec	85μsec	60μsec	100μsec
Impulse	0.023	0.028	0.018	0.028	0.039	0.047	0.011	0.085	
Date	4.30 12:15	4.30 12:55	4.30 17:15	4.30 17:55	5.1 12:15	5.1 17:15	5.1 12:15	5.1 17:55	

Table 5 Test Item for drilling pattern

Test No.	Drilling length m	No. of drilling	Volume of explosive(kg)	Notes
17	6.5	1	5.5	Concentrated charging
18	6.5	1	2.2+3.3=5.5	" Deck charge
19	6.5	2	(2.2+3.3)x2=11.0	" "
20	6.5	4	(2.2+3.3)x4=22.0	" (Trench exists)
21	4.0	1	5.0	" "
22	6.0	2	10.24x2=20.48	" "
23	(Blasting by plastering to the rock)	—	3.0	Investigation of airmat effect
24	"	—	3.0	
25	"	—	3.0	
26	"	—	0.75	

Table 6 Results of measuring

Test No.	Pick-up No.	Max value of pressure	Impulse	Notes
17	1	96.9kg/cm ²	47.4x10 ⁻³ kg · sec/cm ²	Bottom 5.5kg
	2	50.0	71.1	
	3	62.7	77.3	
	4	31.8	62.5	
18	1	80.8	35.8	Deck ; 5.5kg
	2	47.1	39.2	
	3	64.1	63.0	
	4	16.3	26.2	
19	1	43.1	40.6	Deck ; 11kg
	2	22.7	28.9	
	3	52.5	71.1	
20	1	163	158	Deck ; 22kg
	2	81.4	94.0	
	3	123	118	
	4	84.2	69.0	
21	4	15.3	19.1	Bottom 5kg
22	4	60.0	44.5	Bottom 20.48kg
	4	48.4	17.0	
23	2	53.0	58.4	plastered (deformation) 3kg (30~60cm)
	3	12.0	6.88	
	4	43.5	22.1	
24	2	51.2	73.3	" (") 3kg
	4	47.0	16.3	
25	2	44.1	67.6	" (") 3kg
	3	12.9	66.3	
	4	42.6	41.0	
26	4	54.5	11.6	0.75kg

衝撃圧を受ける海底鋼管の許容値を考察し第3報に報告する。同実験は総合安全工学研究所に委託し、田中一三氏や清水達英氏の御協力を得たので、ここで厚く御礼申し上げたい。

文 献

- 1) R. H. Cole; Under water Explosions, Princeton university Press (1948)
- 2) 若岡, 小川, 沢田, 坂口; 水中爆破に伴なう水中衝撃波軽減法, 工業火薬協会誌, Vol. 31, No. 2(1970)
- 3) J. P. Murtha and W. J. Nordell; Reaction forces for Bottom-fixed structures subjected to water shock, Jan. (1968)
- 4) 本四連絡橋公団, 安全工学協会, 水中発破による衝撃圧等報告書 (1972).
- 5) Young c. Member, A. S. C. E; Response of Ocean based structure to water-shock waves. (1968)

A Study on the Behavior of Submarine Pipelines under Shock Pressure of Underwater Rock Blastings (II) Model Experiment

by Mitsuho WADA*

The 2nd report on the behavior of underwater pipelines is in regard to the investigation of the behavior of model pipelines, laid at the bottom of the sea, caused by actual-scaled blasting since the amount of explosive obtained in the 1st report may be dangerous for the execution of blasting.

Shock pressure and strain stress were measured as recorded wave pattern. Test scale extends from No. 1 to No. 26 and all possible blasting conditions which may happen at actual execution are taken into consideration and the behavior experiment on suspension test and drilling blasting was done.

The amount of explosive obtained in the 1st report was also taken into account when the amount of explosive to be used was determined.

In case of suspension test, maxim amount of explosive was 3kg and max. value of impulse was $149.4 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$. In case of drilling blasting which is close to actual scale, $158 \times 10^3 \text{ kg sec}/\text{cm}^2$ was recorded as the value.

Each shock pressure was $375 \text{ kg}/\text{m}^2$ and $163 \text{ kg}/\text{m}^2$. Max. value of strain stress reached up to $3,300 \mu$.

The 3rd report is to study allowable value of underwater pipelines affected by shock pressure on basis of the said behavior analysis.

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