



放水路仮締切撤去で実施した51段発発破について

峰 重之*, 時岡忠弘*, 井上博之**, 西田 佑***
吉田信生****, 野口勝己***

東北電力㈱第2新郷発電所新設工事完成に伴う放水路仮締切部の発破撤去に当って、その締切部から最短距離距離 5.5m~10.0mの極近傍に新設の導流壁(センターピアー)および放水口コンクリートが存在するために、当該保安物件に影響を与えることなく発破施工を実施する必要があり、全体の爆薬使用量(639.75kg)を51分割し、1分割当り最大の薬量を25.5kg以下とした多段発破を実施した。

51の点火時間差を与えるための方法としては、MS電気雷管、DS電気雷管およびDS電気雷管とNonel(秒時125ms又は175ms)との組合せ物を併用することにした。またその組合せ物を起爆する方法としては、直接DS電気雷管でNonelチューブを起爆させず、導爆線を介して、そのチューブを起爆させることを試みた。

導爆線を使用してデッキチャージを行なった全孔中の爆薬(合計111孔)は全て完爆し、満足すべき発破結果を得た。

1. 緒言

東北電力㈱第2新郷発電所新設工事の放水路仮締切部の発破撤去にあたって、それに隣接(最短距離5.5m~10.0m)して新設の導流壁および放水路コンクリート構造物が存在するために、発破振動を考慮して斉発薬量を最小限に減少させた多段発破が必要となり、いくつかの起爆方法を検討した。

その結果から、MS電気雷管、DS電気雷管およびDS電気雷管とNonel雷管との組合せ物を併用することにより51段発破を実施した。

2. 起爆法の検討

2.1 電気雷管だけによる起爆法

発破において、段差を与える最も簡便で一般的な方法は、現在市販されている電気雷管を使用することで

ある。然し、その電気雷管だけの使用によっては、51段差を得ることが出来ない。日本で市販されている電気雷管はDSD、MSDともに20までであり、両方併用するとしても、MSD1段~10段およびDSD2段~20段の合計29段までしかならない。(日本化薬の基準秒時MS10段で200ms、DS2段で250ms)さらに、各段の地盤振動の波形を重畳させないように段抜き使用を行なっても、合計24段の時間差しか得ることが出来ない。

2.2 MSコネクター

工火協 Vol. 38, No. 2, '77に記載されているMSコネクターを使用する方法が考えられるが、現在日本では製造されていない。

2.3 多段式発破器

本四架橋工事を契機として開発された多段式発破器を段発電気雷管と組合せて使用する方法が考えられる。

この発破器は数個の発破器から成り、あらかじめ指定した秒時間隔で自動的に連続して供給される構造となっている。その一例として、日本化薬製SBM-100-7-2型発破器がある。然し、これを使用する発破システムでは、各発破器から発破母線が出ることになり、当該仮締切発破の特殊性から、前段の起爆コンクリート片で後段部の発破母線が切断され、不発になるのではないかと懸念がある。

2.4 Nonel(GT)雷管と電気雷管との組合せ

Nonelチューブを通常の電気雷管で起爆させること

*前田建設工業㈱, 飛鳥建設㈱, ㈱会津土建工業共同企業体

〒969-43 福島県耶麻郡高郷村大字上郷字西海枝50 第二新郷発電所新設工事共同企業体

TEL 03-265-5551

**前田建設工業㈱ 技術研究所

〒176 東京都練馬区旭町 1-39-16

TEL 03-977-2241

***日本化薬㈱ 火薬事業部

〒102 東京都千代田区富士見 1-11-2

TEL 03-237-5202

****日本化薬㈱ 姫路工場

〒679-21 兵庫県姫路市豊富町豊富 3903-39

TEL 0792-64-3001

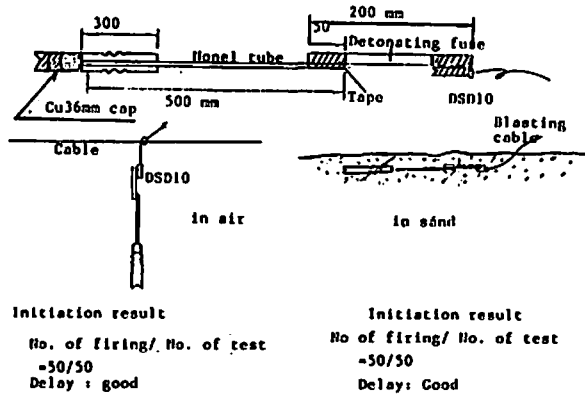


Fig. 1 Initiation test for electric cap-detonating fuse-Nonel (GT) cap combination system.

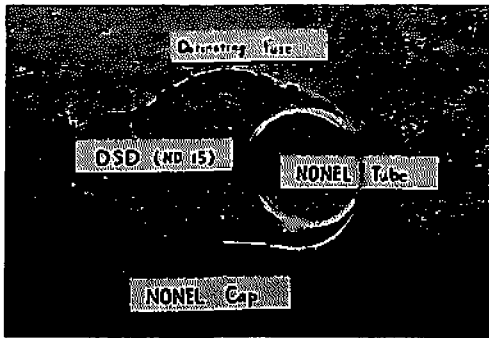


Fig. 2 Initiation system with the combination of Nonel cap detonating fuse and Deci-second delay cap (DSD). (used in the multi-delays blasting of cofferdam.)

が出来るのではないかと言う可能性に着目し、DS 電気雷管と Nonel (GT) 雷管を組合せて使用することを検討した。例えば、仮に DS 電気雷管 2 段 (秒時 250 ms) を 125ms の秒時を持つ Nonel (GT) 雷管のチューブに連結すれば、その電気雷管に通電した後、375 ms 後に Nonel 雷管が起爆されることになる。然し、事前の調査結果によると、通常の電気雷管で Nonel チューブを起爆した場合に、30 発の起爆回数内、1 発程度の割合で Nonel チューブが不発になることが判明した。その原因は雷管底部のノイマン効果によって生ずるジェットおよび管体の飛散する破片による Nonel チューブの切断に起因しているのではないかと考えられる。そこで、起爆の確実性を期するために、電気雷管を直接 Nonel チューブに接続せずに、その間に導爆線を連結させる方法をあらためて検討した。このような条件で起爆させた結果、50 回試み、全て完爆した。Fig. 1 は短かく 20 cm の長さに切断された 50 グレン導爆線の一端に DS 電気雷管 (2300ms)、他端に Nonel

(GT) 雷管 (125ms) のチューブを連結し、DS 電気雷管に通電した後 2425ms の所期の秒時で Nonel (GT) 雷管が確実に起爆されたことを示している。また、この場合に 175ms の Nonel 雷管を組合せることにより、2475ms の秒時が得られることになる。以上のようにして、当然、DS 2 段と 3 段と 4 段、……の各段の間に Nonel の秒時をかみ合わせることによって、多数の秒時差を得ることが出来る。

以上の起爆法の検討結果に基づいて、当該仮締切部多段発発破においては、瞬発電気雷管、MS 電気雷管 (2, 3, 4, 5, 7, 8, 10 段) および DS 電気雷管 (2 段 ~ 16 段) ならびに DS 電気雷管 (2 段 ~ 16 段) と Nonel (GT) 雷管 (125ms および 175ms) との組合せ物を併用し、総計 51 段発の多段発発破を実施することを決定した。

3. Nonel (GT) 雷管について

Nonel システムはスウェーデンの Nitro Nobel 社が開発した新しいタイプの非電気式起爆法である。それは迷走電流、静電気、雷、電波エネルギーに対して極めて安全であり、しかも、雷管内部に遅延装置を持ち良好な秒時精度のもとに段発発破が出来ることを 1 つの特徴としている。その構成は、Nonel チューブを基本要素として、Nonel 雷管および Nonel コネクターから成る。通常的使用方法としては、各孔に Nonel 雷管付薬包を装填し、そこから口元まで雷管の脚線に相当するチューブを出す。各孔から出たそれらのチューブをミニ雷管内蔵のコネクターで連絡し、また、所謂発破母線に相当するスターターに連結する。スターター的一端を起爆すれば、コネクターを通して各孔の Nonel 雷管が起爆される。Nonel チューブは特殊雷管や導爆線によっても起爆出来る。

Nonel チューブを起爆すると、衝撃波が約 2000m/s でそのチューブ中を伝播していく訳であるが、導爆線

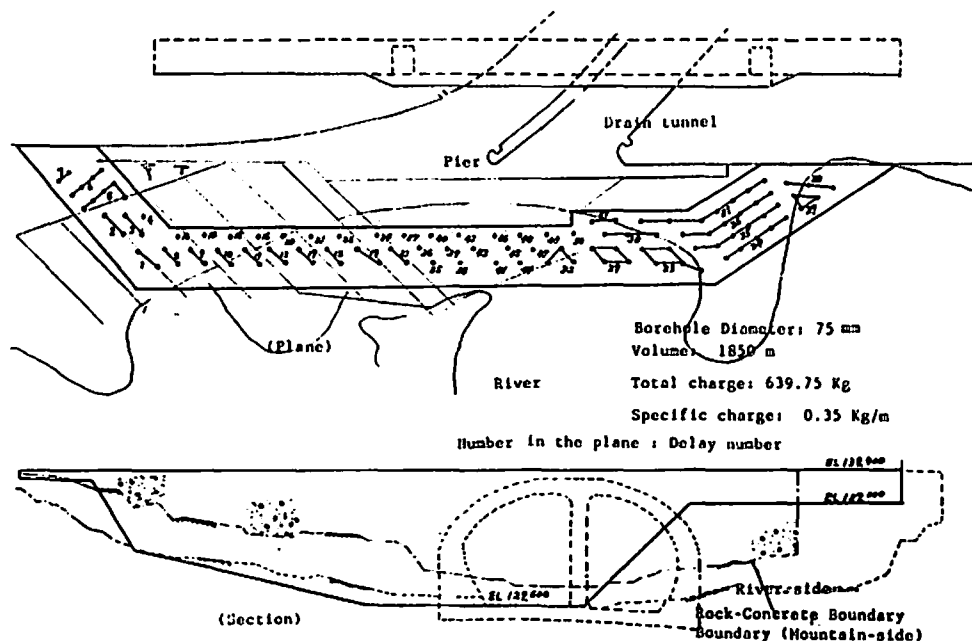


Fig. 3 Drilling pattern pattern for the cofferdam

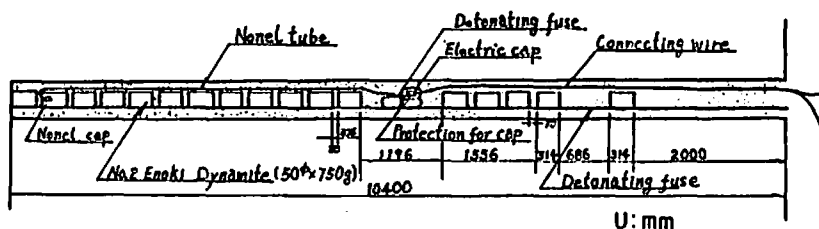


Fig. 4 Loading condition in bore-hole (10.4m length)

と異なって、チューブの外側へは何ら影響を与えない。また、起爆後、チューブ自身は全く傷つかず、原形を保っている。従って、今回の発破のように、デッキチャージに使用される導爆線および各ダイナマイトに接した状態になっても、何らそれには影響を与えない。然し、逆の場合には当然 Nonel チューブが影響される。

4. 穿孔および装薬パターンについて

放水路仮締切部付近の概略の位置関係と穿孔パターンを Fig. 3 に示している。同図から判るように、当該仮締部発破箇所から最短の所で 5.5 m の距離に導水壁、また、そこから 8 m の距離に放水路コンクリート構造物が存在する。そのパターンは、それらの構造物に対する発破振動の影響を防止するために、斉発薬量を極めて小さなものとし、また、1 段当りの孔数を少なくしたものとしている。特に、当該保安物件と近い距離の当該仮締切中央部では、1 段当り一孔のみであり、

極端に制限を受けたパターンとなっている。

そのために、カットオフや飛石の可能性が懸念されることになり、特に装薬パターンについては徹底的な検討を加えている。以上の発破計画では、発破振動を考慮して、若干弱装薬と思われる 0.35 kg/m^3 を採用している。従って掘削体積が 1850 m^3 であるので、全体の爆薬量は 640 kg 内外となる。

Fig. 4 および Fig. 5 に装薬状況を示している。同図に示しているように、装薬パターンは ① MS 電気雷管（脚線長 6 m）で起爆するパターン、② DS 電気雷管と Nonel 雷管との組合せで起爆させるパターンの 2 種のパターンに別れる。

また、それらの装薬計画で採用したデッキチャージを行なうに当たっては、孔底までの長さの導爆線（50 グレン）を 2 重に束ね、それに沿って、あらかじめ作成された発破計画に従った薬包間隔を保ち、2 号楯ダイナマイト（ $50\phi \times 750 \text{ g}$ ）の薬包をテーピングする方法

を採用した。

また、①の装薬パターンの管付薬包の位置は口元から5～6mの位置、②の場合のNonel雷管付薬包の位置は孔底から2本目の薬包の所とし、下から上向きにその雷管を装着している。Nonelチューブは導爆線に装着された各薬包とともにテーピングした。(Nonelチューブによって導爆線および爆薬に影響を受けない。)

なお、②の場合には、口元からあらかじめ計画された位置に、DS電気雷管の管体、導爆線およびNonelチューブの結合部を設定し、そのためのスペースを確保するために、100cm内外の未装薬部を設けた。(Fig. 4およびFig. 5) それらの結合部に使用する導爆線は20cmに切断されたものであり、その一端に電気雷管、他端にNonelチューブをビニールテープで結合させている。従って、通电後の起爆の順序は、DS電気雷管、導爆線、Nonelチューブ、Nonel雷管付薬包、導爆線、各薬包の順となる。

さらに、以上の装薬パターンを計画するに当たって、特に次の点に慎重な注意を払っている。

4.1 カットオフ防止、飛石防止

穿孔長が2.0mから10.4mまでの全ての孔について、通常の発破でのデッキチャージの方法に比べて、装薬重心を孔底の方に沈めたものとした。

4.2 上部の大塊防止

4.1の結果、孔の上部で大塊が生じる可能性が増大すると言う欠点がある。その為、両者の折衷案をとり、ダイナマイト(50φ×750g)1本だけを口元から2mの位置に全孔とも装薬することにした。

4.3 水孔に対する防護

Nonelチューブの端面はシールされているので、チューブを切断しないで使用することにした。また、Nonelチューブへの起爆の橋渡しとしての導爆線については、その両端が浸水しないように、クイックボンド5(糊コシ製)を丁寧に塗布した。(事前の耐水試験結果によると、1kg/cm²×42Hで起爆する)

4.4 電気雷管の防護

導爆線に連結されたDS電気雷管は探のままで装填されると、衝撃による爆発危険性が考えられるので、マイトコーク(込物用粘土)で十分に被覆した後、ビニール袋を覆せ、その上をビニールテープで慎重に固定した。そのマイトコークの使用は、ノイマン効果のジェット機の緩和や雷管底部の破片の飛行速度の緩和を狙ったものでもあった。

4.5 デッキ装薬用導爆線の切断防止

DS電気雷管の起爆又はそれに連結された導爆線の起爆による衝撃又は破片等で重要な部分であるデッキ

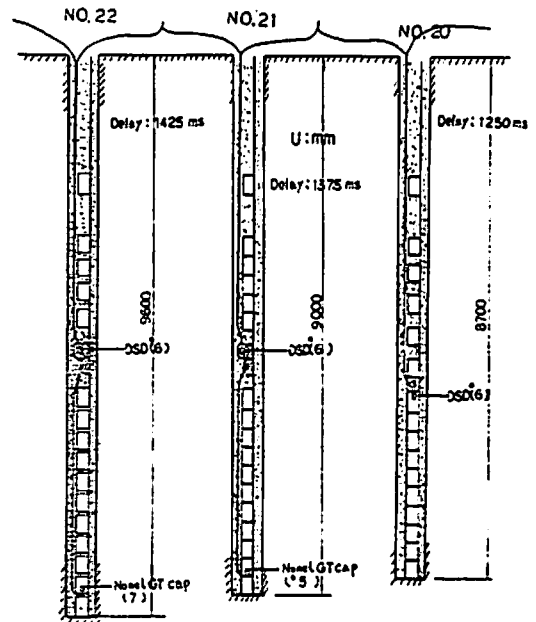


Fig. 5 Loading condition of No. 20, No. 21, No. 22 delays.

装薬用の導爆線が切断されることがないように、DS電気雷管—導爆線—Nonel(GT)チューブ連結部とデッキチャージ用導爆線との間に充分な隔離を保ち、その間にマイトコークを積み込み、ビニールテープで慎重に固定した。また、導爆線に連結された電気雷管はデッキチャージ導爆線側に向かないように慎重な配慮を行なった。

5. 発破秒時および装薬量について

Table 1に当該仮締切発破における使用段数、使用雷管の種類、計画秒時、斉発孔数、孔長、1孔当りの装薬量および斉発薬量を示している。同表のように51段まで使用している。その多段数の使用は隣接する新設導流壁および放水口コンクリートに影響を無くするために、発破振動値を抑制することを目的としたものである。51段使用で発破終了までに約4.2秒の時間を要し、通常実施されている発破に比べて、相当に長い時間となる。Table 1から判るように、各段間の秒時差は40～125msとなっている。各段で生じる地盤振動波形を完全に分離し、各々独立したものとするためには、もっと大きな秒時間隔をとる必要があると考えられるが、対象となる保安物件が極く近傍であり、各段の振動波形が分離し易く、さらに、多段数を必要とすることも勘案し、この程度の間隔となっている。また、MS電気雷管を使用する初期の段数の範囲においては、瞬発+MS2段、MS4段+MS4段+MS5段 および

Table 1 Delay time, number of Holes, ole length, charge weight per delay
(MS : Mili-second cap, DS : Deci-second cap, : Instantaneous cap,
N : Nonel cap)

Delay No.	Caps	Delay time (ms)	Holes	Hole length (m)	Charge per hole (kg)	Charge weight (kg)
1	I	0	2	5.9	6.75	13.5
2	MS 2	20	2	5.9	6.75	13.5
3	MS 4	60	2	6.3	7.5	15.0
4	MS 5	80	1	6.7	7.5	7.5
5	MS 7	125	5	2.0	0.75	3.75
6	MS 8	150	4	2.0	0.75	3.0
7	MS10	200	2	2.0	0.75	1.5
8	DS 2	250	2	6.3	7.5	15.0
9	DS 2+N 5	375	2	6.7	7.5	15.0
10	DS 2+N 7	425	2	7.8	9.75	19.5
11	DS 3	500	2	7.8	9.75	19.5
12	DS 3+N 5	625	2	8.2	10.5	21.0
13	DS 3+N 7	675	1	6.7	7.5	7.5
14	DS 4	750	1	7.8	9.75	9.75
15	DS 4+N 5	875	1	7.8	9.75	9.75
16	DS 4+N 7	925	2	8.2	10.5	21.0
17	DS 5	1000	2	8.7	11.25	22.5
18	DS 5+N 5	1125	2	9.0	12.0	24.0
19	DS 5+N 7	1175	2	9.6	12.0	24.0
20	DS 6	1250	1	8.7	11.25	11.25
21	DS 6+N 5	1375	1	9.0	12.0	12.0
22	DS 6+N 7	1425	1	9.6	12.0	12.0
23	DS 7	1500	5	5.0	1.5	7.5
24	DS 7+N 5	1625	5	3.0	1.5	7.5
25	DS 7+N 7	1675	6	3.0	1.5	9.0
26	DS 8	1750	6	3.0	1.5	9.0
27	DS 8+N 5	1825	3	3.0	1.5	4.5
28	DS 8+N 7	1875	3	3.0	1.5	4.5
29	DS 9	2000	7	3.0	1.5	10.5
30	DS 9+N 5	2125	3	3.0	1.5	21.0
31	DS 9+N 7	2175	7	3.0	1.5	25.5
32	DS10	2300	3	7.0×2+5.0	7.5×2+6.0	12.75
33	DS10+N 5	2425	2	10.4	12.75	14.25
34	DS10+N 7	2475	1	10.4	12.75	14.25
35	DS11	2600	1	10.4	14.25	12.75
36	DS11+N 5	2725	1	10.4	14.25	14.25
37	DS11+N 7	2775	1	10.4	12.75	14.25
38	DS12	2900	1	10.4	14.25	12.75
39	DS12+N 5	3025	1	10.4	14.25	14.25
40	DS12+N 7	3075	1	10.4	12.75	12.75
41	DS13	3200	1	10.4	14.25	14.25
42	DS13+N 5	3325	1	10.4	12.75	12.75
43	DS13+N 7	3375	1	10.4	9.0	9.0
44	DS14	3500	1	10.4	14.25	14.25
45	DS14+N 5	3625	1	10.4	12.75	12.75
46	DS14+N 7	3675	1	10.4	9.0	9.0
47	DS15	3800	1	10.4	12.75	12.75
48	DS15+N 5	3925	1	10.4	9.0	9.0
49	DS15+N 7	3975	1	10.4	9.0	9.0
50	DS16	4100	1	10.4	12.75	12.75
51	DS16+N 5	4225	2	7.0+5.0	7.5+6.0	13.5
Total			111 Holes			639.75

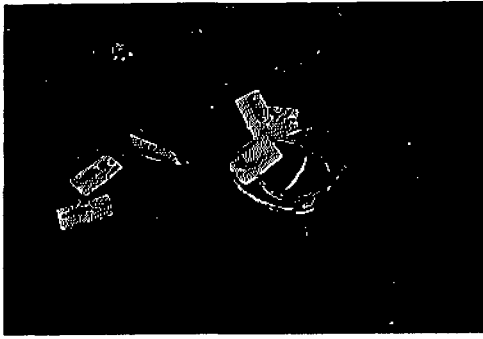


Fig. 6 Nonel caps attached to No. 2 Enoki dynamite.

MS 7段+MS 8段の組合せでMSDの干渉効果を狙い、振動の低減を考えに入れている。

また、各段当りの孔数(斉発孔数)は仮締切中央部(すなわち保安物件に近い部分)では1孔のみ、一方、比較的遠い所で孔長が短い所では、6孔としている。斉発効果を高めるためには、多数孔斉発を行なう方が起砕上効果的であるが、発破振動の問題から許容斉発薬量を25.5kg以下に抑える上で止むを得ない。そのために、装薬パターンはカットオフおよび飛石に充分な配慮を払ったものとした。

6. 許容振動値の検討

衝撃振動によって、構造物に発生する応力は次式で表わすことができる。

$$\sigma = v \sqrt{\rho \cdot \frac{d\sigma}{d\epsilon}} = \rho cv \quad (1)$$

ここで、 σ : 発生応力 dyn/cm² ϵ : ひずみ
 C : 伝播速度 cm/s ρ : 密度 g/cm³
 v : 変位速度 cm/s

一方、コンクリートの圧縮強度を210kg/cm²とすれば、次式³⁾によって、引張強度が得られる。

$$\sigma_t = 0.396 \sigma_c^{0.73} \quad (2)$$

ここで、 σ_t : 引張強度 kg/cm²

σ_c : 圧縮強度 kg/cm²

$$\begin{aligned} \text{上式より、} \sigma_t &= 0.396 \sigma_c^{0.73} = 0.396 \times 210^{0.73} \\ &\approx 20 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

となる。高速載荷の場合は強度が増加することを勘案すれば、許容応力度は上記の値となるが、ここでは、 $\sigma_{ta} = 20 \text{ kg/cm}^2$ を許容応力度として、以下を導びく。また、コンクリートの圧縮強度と伝播速度との間の関係は次式のとおりである。

$$C = 4.1 + 1.7 \times 10^{-3} \sigma_c \quad (2)$$

上式から、 $\sigma_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ の時、 $\approx 4.5 \text{ km/s}$ となる。さらにコンクリートの密度を $\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$ 、許容応力度を $\sigma_{ta} = 20 \times 10^3 \times 980 \text{ dyn/cm}^2$ とすれば、変位速度としての許容値は次式により算出出来る。

$$\begin{aligned} \text{変位速度 } v &= \rho_{ta} / \rho C = 20 \times 10^3 \times 980 / 2.3 \times 4.5 \times 10^3 \\ &= 19 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

なお、コンクリート構造物上で計測される変位速度は端面での反射を考慮すると、上記変位速度の2倍となる。従って、その変位速度は $2 \times 19 = 38 \text{ cm/s}$ となるが、本締切に隣接する導水壁および放水口コンクリートについては安全率を $F_s = 1.5$ にとり、許容変位速度を $v_a = 25 \text{ cm/s}$ として評価した。

Fig. 7に示すように、当該保安物件上での測定結果は最高値で9.4cm/sであった。それらのコンクリート構造物の安全性は十分に保たれたものと考えられる。ここでの測定波形は、各測定位置のコンクリート面にエポキシ系接着剤で固定したPV-34型振動検知器(リオン㈱製)に増幅器(VM-21型、変換器内蔵、リオン製)を通し、電磁オシログラフ(共和電業製RMV-550 A)で記録させたものである。

7. 飛石防護工について

発破防護工は、装薬完了後にブルーシートを仮締切天端全面に覆い、次にその上を菱形金網を覆い、その両端を締切コンクリートに止める方法により、付近に存在する高圧線に対する飛石防護を行なった。

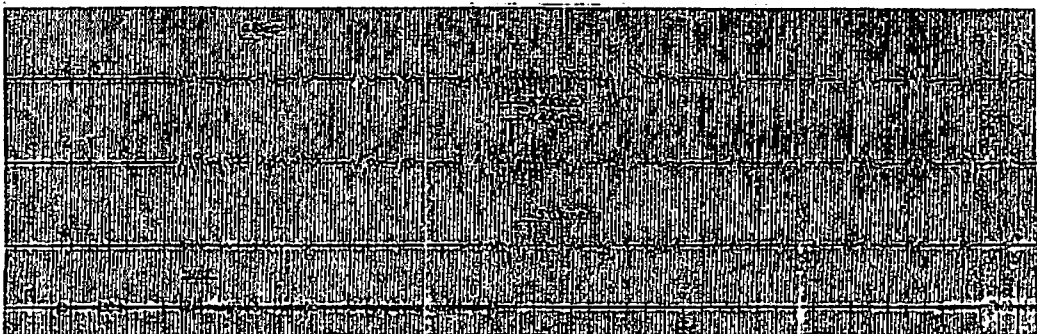


Fig. 7 Vibrogram recorded on the center pier in the multi-delays blasting of the cofferdam.

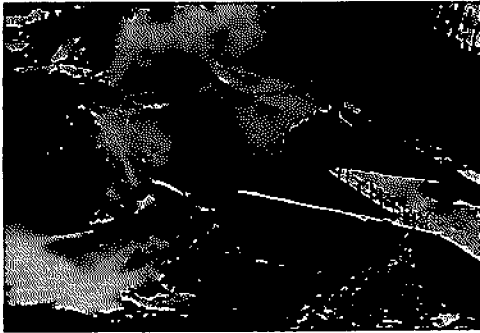


Fig. 8 A moment of the multi-delays blasting of cofferdam.

8. 発破結果

Fig. 9 は発破結果の写真である。破碎後の状況を見ると上部付近で若干の大塊が生じたが、導流壁および放水路コンクリート構造物に何ら影響を与えず、初期の目的を達した満足すべきものであった。

9. 結 言

東北電力㈱第2新郷発電所新設工事に伴う仮締切撤去に当り、隣接の新設導流壁および放水口コンクリート構造物に対する発破振動を防止するために、段発電気雷管と Nonel (GT) 雷管との組合せにより51段発発破を実施した結果、当該保安物件に何ら影響を与えず、また飛石も無く、所期の目的を達した充分に満

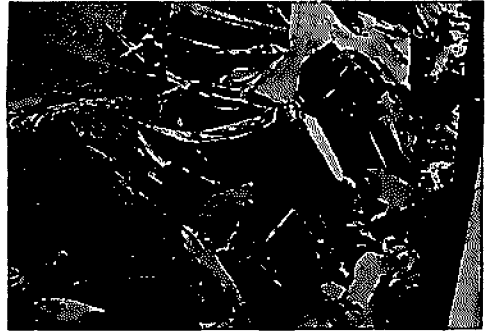


Fig. 9 Blasting result of cofferdam.

足すべき破碎結果を得た。なお、当該保安物件上で測定した振動の最高値は9.4cm/sであり、前記の許容値25m/s以下の測定結果を得た。

最後に当該発破の実施に当り、多岐にわたり、懇切丁寧な御指導を賜った東北電力㈱第二新郷第二山都発電所建設所々長 佐藤栄滋氏並びに同所関係各位に対して厚く謝意を表する次第である。

文 献

- 1) 西田他：工火協，Vol. 38，No. 2，1977
- 2) 竹田：セメントコンクリート，No. 406，1980
- 3) 土木材料実験，技報堂，昭54
- 4) 坂上：工火協：Vol. 44，No. 5，1983

51 Delays Blasting in Temporary Cofferdam

by Shigeyuki MINE*, Tadahiro TOKIOKA*, Hiroyuki INOUE**,
Tasuku NISHIDA***, Nobuo YOSHIDA***, Katsumi NOGUCHI**

In removal of cofferdam, a blasting with multi delays firing had to be done to prevent the effect of blast vibrations to the pier and the drain concrete construction closed to the blasting site, therefore the quantities of used explosive in one shot were restricted.

Then we planned to use short delay (MSD), ordinary delay (DSD) electric caps and combination system of DSD and Nonel (GT) cap to get 51 delays for this purpose.

Before the blasting was carried out in practice, we made some severe tests about the co-operate of DSD, Nonel (GT) and conventional detonating fuse under water condition in our laboratory.

As the result of the test, we adopt a following firing method. The Nonel tube should be primed by detonating fuse instead of direct priming from DSD to prevent misfire that be caused by cutting of Nonel tube by Neumann jet and etc. from bottom of DSD cap.

We finished the work satisfactorily.

(*Maeda Construction Co., LTD., Tobishima Construction Co., LTD., Aizudoken Construction Co., LTD
50, Aza-Saikachi, Oaza-Kamigo, Takasato-Mura,
Yama-Gun, Fukushima-Ken, Japan.

**The technical Institute of Maeda Construction Co., LTD.
39-16, 1-chome, Asahi-Cho, Nerimaku, Tokyo, Japan

***Explosives Division of Nippon Kayaku Co., LTD.
11-2, Fujimi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan

****Himeji Factory of Nippon-Kayaku Co., LTD
3903-39, Toyotomi, Toyotomi-cho, Himeji, Japan)