

旧高島炭鉱6階建て鉄筋コンクリート造集合住宅の発破解体（第3報）

（発破解体計画，装薬設計，振動，騒音，飛散物）

澤田一郎*，山口梅太郎**，小林直太***，中軸美智雄****

柴田秀昭*****，新藤孝志*****

本報文は同名報文の（第3報）で、1988年10月12日に長崎県西彼郡高島町で実施された、6階建て鉄筋コンクリート造集合住宅の発破解体工事に関するものである。この発破解体工事は153.8kgの爆薬と1,194個の電気雷管を使用し、DS8段発で実施された。使用した火薬類と発破器、発破解体計画、各部の装薬設計、各部の装薬配置と装薬作業、段発秒時、結線回路等について述べた。更に現地での測定結果をもとに振動、騒音、飛散物等の発生状況について述べた。

1. はじめに

同名報文（第2報）に続き、本報文（第3報）では6階建て鉄筋コンクリート造（以下R/C造という）集合住宅の発破解体工事のうち、使用火薬類、発破解体

1993年9月7日受理

*大成建設株

〒169 東京都新宿区百人町3-25-1
サンケイビル

TEL 03-5386-7570

FAX 03-5386-7579

**武甲工業株

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-27-9
アサノ新宿ビル

TEL 03-3341-7441

FAX 03-3357-3717

***中央大学

〒112 東京都文京区春日1-13-27

TEL 03-3817-1711

FAX 03-3817-1820

****財団法人全国火薬類保安協会

〒102 東京都千代田区九段北1-12-4
徳海屋ビル

TEL 03-3264-8751

FAX 03-3264-8753

*****佐藤工業株

〒103 東京都中央区日本橋本町4-12-20

TEL 03-3661-4794

FAX 03-3668-9484

*****株式会社

〒103 東京都中央区日本橋本町4-4-11
永井ビル

TEL 03-3279-4951

FAX 03-3279-4922

計画、各部の発破設計、装薬配置、段発秒時、振動、騒音、飛散物等について報告する。解体構造物の概要、事前処理、破碎効果、二次的破碎等については（その2）を参照することにより全体が理解できよう。

2. 使用した火薬類と発破器

この建物の発破解体に使用した火薬類は3号桐ダイナマイト（以下、No.3KDという）、コブラックの2種類である。概略組成と特徴を以下に示す。

No.3KD（日本油脂製、計123.8kg使用）

ニトルゲル	18～24%
-------	--------

硝酸アンモニウム	65～75%
----------	--------

爆速	5,500～6,300 m/sec
----	-------------------

コブラック（旭化成製、計300m使用）	
---------------------	--

心薬	ベンスリット100 g/m
----	---------------

爆速	6,000 m/sec
----	-------------

火薬類の起爆には、6号DS段発電気雷管及び第2種導爆線を使用した。概略性能と特徴を以下に示す。

6号DS段発電気雷管（日本化薬製、計1,194個使用）

添装薬	0.4 g/個
-----	---------

基準秒時差	0.25sec/段
-------	-----------

第2種導爆線（日本カーリット製、計254m使用）

心薬	ベンスリット10 g/m
----	--------------

爆速	6,000～6,500 m/sec
----	-------------------

点火には新たに開発した大容量発破器を使用した。その緒元を以下に示す。

コンデンサー電圧	1,020V
----------	--------

コンデンサー容量	627 μ F
----------	-------------

3. 発破解体計画

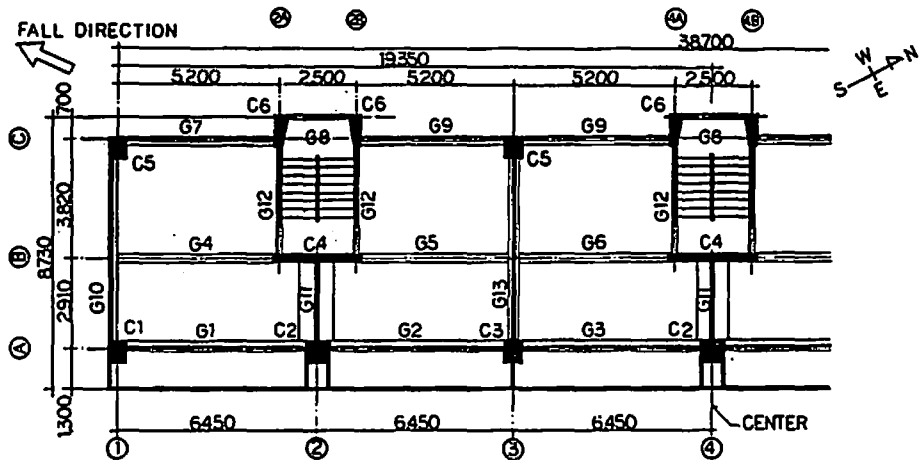


Fig. 1 Plan of the demolished building

Table 1 Charge design for columns on 1F

Item Part	Column section (m×m)	Height (m)	Explosives (kg×hole)	C _A (kg/m ²)	C _V (kg/m ³)	Explosives
C1, C3, C5	0.60×0.70	2.75	0.25×5	0.60	1.08	No. 3KD
C1, C5	0.60×0.70	2.75	0.05×3	0.36		No. 3KD
C2	0.80×0.68	2.75	0.30×8	0.55	1.60	No. 3KD
C4	2.88×0.25	2.75	0.25×14 0.10×2	0.69	1.98	Coblac
C6	0.25~ 0.45×1.00	2.75	0.25×7	0.71	1.82	No. 3KD

Note) C1, C3, and C5 in the 1st line show other than line 7, C1, C5 in 2nd line, line 7.

この建物はRC造の壁付きラーメン構造である。左右対象な建物なので平面の半分をFig. 1に示した。共同住宅であるため戸境壁や階段室が多く、壁柱もある。壁もすべてRC造である。6階建てで高さがそれほどない事も考え合わせると、建物全体の剛性が大きく非常に壊しにくい構造物である。この建物は当然ながら当時の建築法規に即した耐震設計がなされている。このため発破計画に際しては「壊しにくい建物を、いかに確実に発破解体するか」という点に力をいれ、全体として過装薬気味の火薬類を使用する計画となった。次に全体の発破計画について述べる。

- (1) 倒壊方向は敷地内空地状況から考えて建物の斜め前方（南西方向）とした。（Fig. 1参照）
- (2) 1～3階の壁は全面撤去または四周切断、上下部

切断等の事前解体を行ったうえ、柱及び壁柱すべてを完全に爆破破壊する計画とした。

- (3) 4階の柱のうち階段室の柱及び壁柱は剛強な事が予想されたのでこれを完全に爆破破壊する計画とした。その他の4階柱は発破しない事とした。5階柱はすべてその階高の中間部で爆破切断し、4、5、6階部分の剛性低下を図る計画とした。6階の柱は発破しない事とした。
- (4) (2)、(3)項に拘らず、⑦通りの柱（Fig. 5参照）は北東側老人ホーム（Fig. 6参照）への飛石防止を考え、1、3、5階の柱脚部を爆破切断して弱めるのみの計画とした（Fig. 2参照）。
- (5) ⑦通りの柱は倒壊時の東側斜面へのずり落ちを防
- (6) 建物の長辺方向に平行な各階すべての梁の両端部

Table 2 Charge design for 2F beams
(Amount of charge per point to be cut by blasting)

Item Part	Beam section (m×m)	Explosives (kg×hole)	C _A (kg/m ²)	Explosives
G1~G6	0.30×0.74	0.15×1	0.68	No.3KD
G7, G9, G12	0.25×0.79	0.05×4	1.01	No.3KD
G8	1.32×0.30	0.05×7	0.88	No.3KD

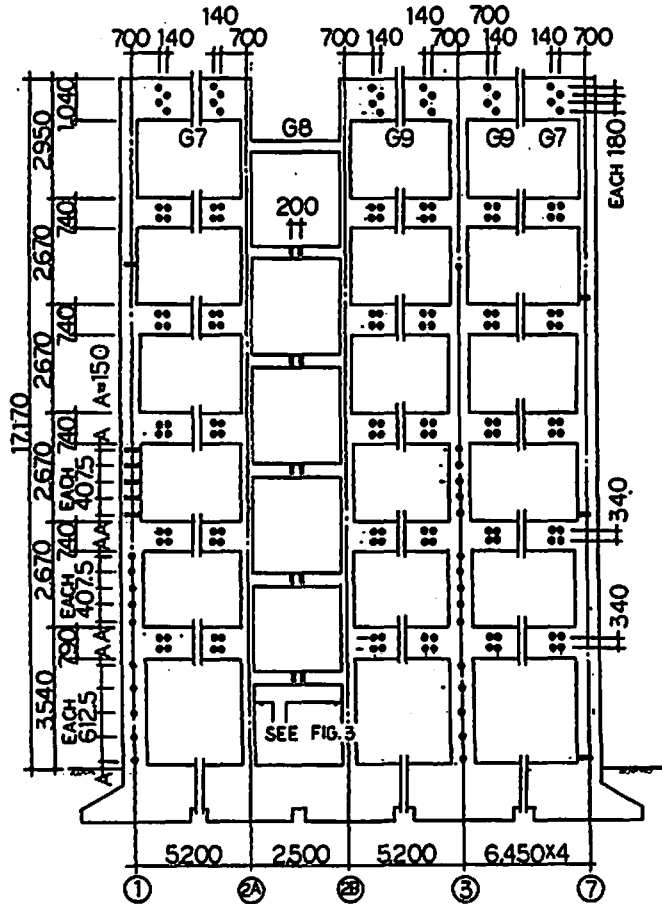


Fig. 2 Charging layout on line C

止するため、⑥通り側からワイヤロープで引っ張る事とした。

を爆破切断する計画とした。短辺方向の梁は爆破しない事とした。

- (7) 階段室は最も強い部分と考えられたので、C6柱とG12梁の交点であるパネルゾーン部分も2、3、

4階部分で爆破する事とした (Fig. 3 参照)。

- (8) 長辺方向に長い建物なので2階~屋上階のスラブを、建物全体を3分割するように③通り、⑤通り位置で事前に切断した。

4. 各部の装薬設計

6階建て集合住宅の発破はすべて内部装薬とし、ほ

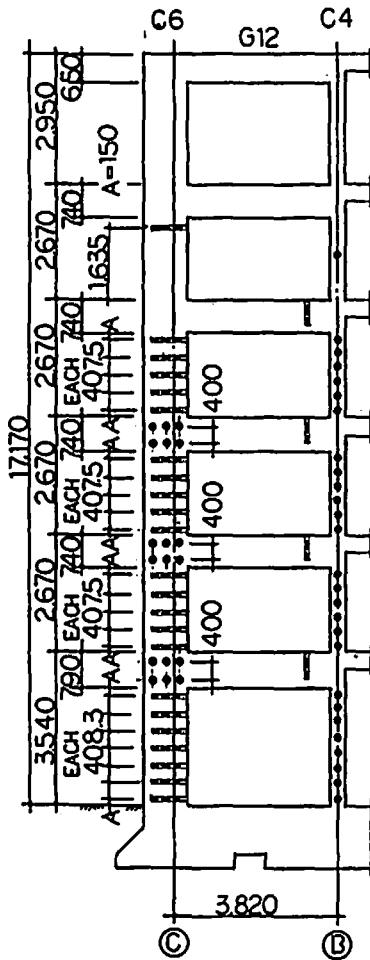


Fig. 3 Charging layout on line 2

とんどの部分にNo. 3 KDを使用した。壁柱C4は厚み250mmと薄かったのでコブラックを使用した。柱の発破は基本的に破壊されたコンクリート塊を主筋やフープ筋の外に完全に放出させ、上部の構造部を抵抗なく落下させ易くする事を念頭において実施した。

同名報文(その1)に報告した要素技術実験で得られた破砕効果をもとに、次に示した(1)式で爆薬量の計算を行った。

$$L = C_A \times A \quad (1)$$

ここにL: 爆薬 (kg)

C_A : 発破係数 (kg/m²)

A: 部材の断面積 (m²)

6階建て集合住宅を完全に発破倒壊させることを大前提としたため、過装薬気味である事を承知した上で、上の $C_A=0.6$ kg/m²を基本にして装薬設計を行った。Table 1に1階柱の装薬設計例を、Table 2に2階梁の装薬設計例を示す。表中には参考のために次に示す

(2)式中の C_V の値も逆算して示した。

$$L = C_V \times V \quad (2)$$

ここにL: 爆薬 (kg)

C_V : 発破係数 (kg/m³)

A: 部材の体積 (m³)

5. 各部の装薬配置と装薬作業

C通りの装薬配置例をFig. 2に、②通りの装薬配置例をFig. 3に示した。Fig. 2のC6柱は図が見にくくなるため装薬配置を記入していない。C6柱の装薬配置はFig. 3による。また、1階柱及び2階梁の装薬詳細図をFig. 4に示した。装薬配置の要点を以下に示す。

- (1) 1～3階の一般部分の柱は、高さの内法間に等間隔に配置した水平穿孔に装薬した。
- (2) 5階の一般部分の柱は、高さの中央部分に配置した水平穿孔に装薬した。(Fig. 2参照)
- (3) 階段室のC6柱は水平面内2方向の穿孔を実施し、G12梁との交差部を含め1～4階の柱全長にわたり装薬した。(Fig. 3参照)
- (4) ⑦通りのC5柱は、爆破切断して弱めるため、1, 3, 5階の柱脚部のみに水平穿孔して装薬した。(Fig. 2参照)
- (5) 階段室奥のC4壁柱は、壁に平行に水平穿孔して装薬した。(Fig. 3, Fig. 4の1C4参照)
- (6) 一般部分の梁は、両端に配置した鉛直穿孔に装薬した。(Fig. 4の2G1参照)
- (7) C通り梁は両端に配置した水平穿孔に装薬した。(Fig. 2, Fig. 4の2G7参照)

装薬作業は以下の様を実施した。

- (1) 火薬類取扱所に必要な火薬盤を一括搬入し、装薬と部分結線に3日、直列回路部結線とその導通確認に1日、爆破当日に並列回路部結線と発破母線接続を行った。
- (2) 防護工終了後建物より半径50m以内を火薬類扱い従事者以外立入り禁止とし、装薬作業を行った。
- (3) 全電気雷管の導通試験を光電池テスターを使用して火工所で行った。
- (4) 装薬作業開始前に敷地内に洩洩電流がないことを確認した。
- (5) 3号樹ダイナマイトの親ダイ作成は火工所で行い、コブラックおよび導爆線への電気雷管取付けは爆薬装填位置で行った。
- (6) 込め棒は木製とし、タンピング材はビニール袋に詰めた砂を使用した。各結線部の絶縁にはプロタイトを使用した。
- (7) 1日の装薬作業終了後、未使用火薬類は火薬類取扱所に保管し、夜間警戒員が徹夜で警戒した。

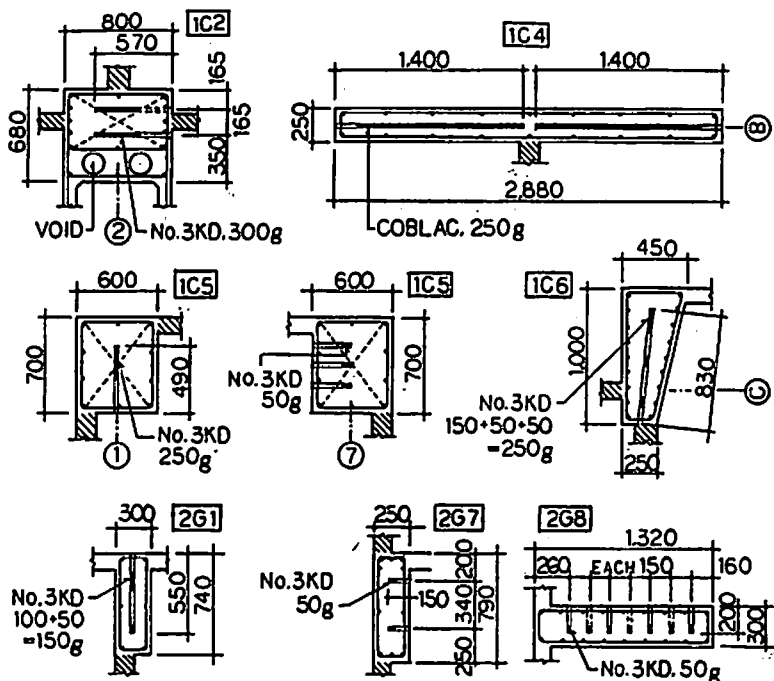


Fig. 4 Charging detail drawing

- (8) 回路の導通試験は光電池テスターによる確認と、デジタルテスターにより電気抵抗値を測定する事により行った。
- (9) 発破当日建物より半径200m以内を立入り禁止とし、並列回路の接続と発破母線の接続および回路の電気抵抗値測定を行った。

6. 火薬類の数量、段発秒時、結線回路について Table 3 に階毎の火薬類の種類と数量を示す。

電気雷管の秒時配置をFig. 5に、電気雷管の使用数量をTable 4に示す。Table 4には、1段目を基準とした段発秒時をあわせ示した。

電気雷管はすべてDS段発電気雷管とし、南西方向への倒壊を図るため、南西端より北東端へ向かう平面上での斜め段発とし、各階共通とした。各段の基本的な秒時差は、ある段の爆破ともなうその部位の倒壊運動開始時には次段の爆破が起こっている事が必要と考え0.25秒とした。但し第2～3段階の間は、倒壊開始時の倒壊方向への運動量を十分大きくする目的で0.50秒とした。最終段の秒時差は電気雷管の製品規格上0.30秒となった。秒時別爆薬使用量をTable 5に示す。

電気雷管の結線は全体を直並列結線とした。97個～99個を一組とする直列結線を12サーキット編成し、これらを並列に結線してひとつの回路にした。各々の直列サーキットには完爆確認を目的とした配線を建物外部に引き出し、これに電気雷管(ダミー雷管)を取付

Table 3 Types and quantities of explosives by floor

Floor	Explosives	No. 3KD (kg)	Coblac (kg)	Total (kg)
RF		3.60		3.60
6F		6.20		6.20
5F		10.35	1.50	11.85
4F		14.30	4.20	18.50
3F		27.20	8.10	35.30
2F		29.00	8.10	37.10
1F		33.15	8.10	41.25
Total		123.80	30.00	153.80

けた。

7. 振動測定結果

発破時および建物倒壊時に発生する振動を把握するため振動測定を実施した。測定位置をFig. 6に、測定位置までの距離をTable 6に、測定器をTable 7に、測定結果をTable 8に示した。敷地は丘陵地で標高差が大きいので、Table 6には解体予定建物と測定位置

Table 4 Number of electric detonators used

Detonators	Stage	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	Total
		DS#2	DS#3	DS#5	DS#6	DS#7	DS#8	DS#9	DS#10	
Delay(sec)		0.00	0.25	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.05	
1F~RF		70	196	156	231	156	233	100	40	1,182
Dunny						12				12
Total		70	196	156	231	168	233	100	40	1,194

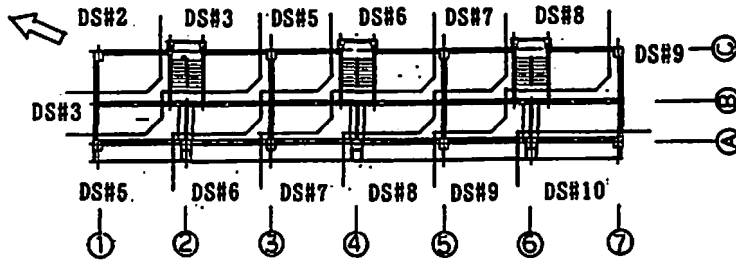


Fig. 5 Timing layout of electric detonators

Table 5 Quantities of explosives used by stage (unit: kg)

Explosives	Stage	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	Total
		DS#2	DS#3	DS#5	DS#6	DS#7	DS#8	DS#9	DS#10	
1F~RF		6.70	19.80	22.35	28.00	22.35	28.45	17.45	8.70	153.80

Table 6 Vibration measurement positions (unit: m)

Positions	Distance	Horizontal distance	Vertical distance	Actual straight-line distance
	No. 1		47.5	-6.6
No. 2		117.0	-22.5	119.1
No. 3		216.0	-29.5	218.0

とのレベル差と突距離をあわせ表示した。

発破地点より距離48.0mのNo. 1測点での振動速度は0.138~0.332cm/secで、「発破振動は顕著で、若干苦情がでる」レベルに相当するものであった。距離119.1mのNo. 2測点の振動速度は0.066~0.077cm/secで、「発破振動は感知できるが、苦情は少ない」レベルに相当し、距離218.0mのNo. 3測点の振動速度は0.010~0.023cm/secで、「発破振動がほぼ感知できない」レベルに相当するものであった。

要素技術実験の振動測定結果より、本現場における発破振動推定式は次に示す(3)式が提唱されている。(同名報文その2参照)

$$V = K \times L^{0.75} \times R^{-2.0} \quad (3)$$

ここにV: 振動速度 (cm/sec)

K: 定数

L: 段当り薬量 (kg)

R: 距離 (m)

(3)式を使用して、段当り薬量をTable 5に示した最

Table 7 Instruments used for vibration measurements

Instrument	Manufacturer	Type	Sensitivity
Vibration velocity meter	Geo-Space	Three component in one body	0.265 V/(cm/sec)

Table 8 Results of vibration measurements

Component Location	X (centripetal)		Y (orthogonal)		Z (vertical)	
	Velocity (cm/sec)	Frequency (Herz)	Velocity (cm/sec)	Frequency (Herz)	Velocity (cm/sec)	Frequency (Herz)
No. 1	0.280	15	0.332	17	0.138	120
No. 2	0.066	10	0.077	8	0.067	80
No. 3	0.020	9	0.023	11	0.010	18

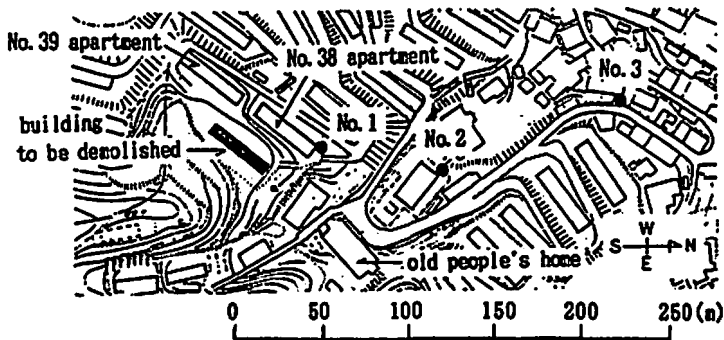


Fig. 6 Location of vibration measurements (same as noise measurement locations)

大値である $L=28.45\text{kg}$ とし、Table 8の振動測定結果から定数 K を逆算するとTable 9のようになり、 $K=65.2$ が得られた。

8. 騒音測定結果

発破時の騒音測定は前に述べた振動測定地点と同一位置で実施した (Fig. 6, Table 6 参照)。騒音測定に使用した機器をTable 10に、騒音測定結果をTable 11に示す。

普通騒音測定値に比較して、低周波騒音は5 dB程度大きな値が観測された。騒音のピーク値は音源からの距離218.0 mのNo. 3地点でも100dB(A)を越えており、発破時の騒音低減対策を更に検討しなければならないと考えられた。

9. 飛散物

爆破後の飛散物調査を行い、次のような結果を得た。

- (1) 防護用古畳は解体建物周辺に飛散した。
 - (2) 距離約12~17 mの位置に近接する38号棟、39号棟集合住宅 (Fig. 6 参照) の2, 3階バルコニーには、拳大のモルタル片やコンクリート塊が数個確認された。拳大より小さな破片は多数見られた。バルコニー部の窓ガラスには損傷が認められなかった。
 - (3) 倒壊建物の周囲約30 m付近までは、倒壊により放出された破砕片が多数あった。
 - (4) 距離約50 mの老人ホーム (Fig. 6 参照) の窓ガラスには損傷を与えなかった。
 - (5) 解体建物より50~70 m付近で、3~5 cm程度のモルタル片6~7個を認めた。
 - (6) 解体建物より110 m付近で、小さなモルタル片2個を認めた。
10. おわりに

Table 9 K values obtained by inverse process

Component Location	X (centripetal)	Y (orthogonal)	Z (vertical)	Average
No. 1	52.4	62.1	25.8	46.8
No. 2	76.0	88.7	77.1	80.6
No. 3	77.2	88.7	38.6	68.2
Average	68.5	79.8	47.2	65.2

Table 10 Instruments used for noise measurements

Instrument	Manufacturer	Type	Characteristics
Impulse precision noise level meter	BION	NA-61	A-characteristics
Low frequency noise level meter	BION	NA-17	LSL-characteristics

Table 11 Results of noise measurements

Component Location	Ordinary noise dB(A)	Low frequency noise dB
No. 1	120	125
No. 2	116	120
No. 3	101	105

ここに報告した発破解体工事は、建物の前処理や発破解体に関する技術情報を得る事と周辺環境への影響についての基礎資料を得る事を目的として、④全国火薬類保安協会が委員会を組織して実施したものである。日本における本格的な建物の発破解体工事の実績が少ないため、試行錯誤的な側面も多く見受けられたが、今回の経験から多くの知見を得る事ができた。

対象とした建物は鉄筋コンクリート造6階建ての壁の多い構造で、発破解体のしにくい建物であった。このため予想された事とは言え、諸外国の例のように全体が少破砕片になってしまうような完全な破壊状態とはならなかった。勿論装薬箇所を増やして大量のダイナマイトを使用すればどのような破壊状態でも得られようが、建物の構造的な強さや周辺環境への影響を考えると、日本の建物の発破解体による壊れかたはこの程度が一つの目安であると考えられる事もできよう。

日本では1991年3月に「コンクリート構造物発破解体工事保安技術指針」が⑤全国火薬類保安協会によって策定され、この方針を注意深く遵守し、関係法令や地方条例に従って建物の発破解体が今後行われてゆく事になる。しかし、機械的な解体工法が盛んな事や、発破解体に適した高層ビルが少ない事、発破解体に際し広範な周辺住民の同意を得る事が行政上必要とされる事等の理由で、しばらくの期間は大規模な工場敷地内など限られた場所で少しづつ発破解体が実施されて行くものと考えられる。

最後に、本研究論文は、1993年10月24～27日にデンマーク・オーデンス市で開催の「第3回RILEMコンクリート造組積造構造物の解体と再利用に関する国際シンポジウム」に発表した内容を報告させていただいたものであることをお断りしておく。

文 献

**Blasting demolition of six-story reinforced concrete apartment building at
defunct Takashima coal mine (III)**

(Blasting design, vibration, noise and fly rock)

by Ichiro SWADA*, Umetaro YAMAGUCHI, Naota KOBAYASHI***
Michio NAKAJIKU****, Hideaki SIBATA*****, and Takasi SINDO*******

This report describes the blasting demolition of a six-story reinforced concrete apartment building carried out in Takashima-machi, Nishisonogi-gun, Nagasaki Prefecture, Japan, on 12th October, 1988, and forms Part 3 of the full report of this title.

The work was implemented using 153.8kg of explosives and a total of 1,194 electric detonators. 8 stages of DS delay blasting was used. Described in this part of the paper are the explosives and blasting machine used, the blasting and demolition plan, the design of charges for each location, the layout of charges and the charging operation at each location, the timing of delay blasting, and the blasting circuits, etc. In addition, the amounts of vibration, noise, and fly rock generated are described based on measurements made at the site.

(*Taisei Corporation

Sanken bldg., 3-25-1, Hyakunin, Shinjuku-ku, Tokyo 169

**Buko Kogyo Co., Ltd.

Asano Shinjuku bldg., 5-27-9, Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151

***Chuo University

1-13-17, Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112

****All Japan Association for Security of Explosives

Tokumiya bldg., 1-12-4, Kudan-kita, Chiyoda-ku, Tokyo 102

*****Sato Kogyo Co., Ltd.

4-12-20, Nihonbashi Hon-cho, Chuo-ku, Tokyo 103

*****Kakoh Co., Ltd.

Nagai-bldg., 4-4-11, Nihonbashi Hon-cho, Chuo-ku, Tokyo 103)
