

# 壁式構造物の発破解体の基礎研究

昔 哲基\*, 金 孝鎮\*\*, 橋爪 清\*\*\*, 小川輝繁\*\*\*\*, 勝山邦久\*\*\*\*\*†

\*韓国カコー, 1087-37, Daerim-dong, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 150-070, KOREA

\*\*大韓住宅公社・住宅都市研究院 ソウル 韓国

\*\*\*火薬学会 〒106-0032 東京都港区六本木5丁目18番17号 化成品会館2F 日本火薬工業会内

\*\*\*\*横浜国立大学 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台156

\*\*\*\*\*愛媛大学 〒790-8566 松山市樽味1357

†Corresponding address: katsuyama@agr.ehime-u.ac.jp

2008年1月21日 受付 2008年3月7日 受理

## 要旨

韓国の高層アパート群はそのほとんどが、壁式構造物である。壁式構造物の発破解体例は、世界にもほとんど例がない。そこで、実際の壁式構造物の壁を用いて、発破実験を行った。まず一つは高圧煉瓦でできた壁を対象に発破を行い、壁の厚さと装薬量の適正な関係を求めた。ついで、鉄筋コンクリートで出来たせん断壁の発破実験を行い、この壁の場合の適正そう薬量を求めた。これらのデータは将来の高層アパートの発破解体に大いに役立つものである。

## 1. はじめに

韓国において1980年代初めに建設が始まった壁式構造の高層マンションは、一定時期が来ると解体工事を伴う再建築をしなければならないのは必須である。したがって今後の韓国内における解体市場の大多数を占めると予想される壁式構造物の解体技術の開発が必要であり、しかも、解体を発破で行うことにより、解体時の長期的な環境の被害要因を少なくし、安全性を増加させつつ工期の短縮、費用の節減を確保することができる。

韓国内で最初に発破解体工法が行われたのは、1990年にRCラーメン建造物を対象とした。それ以降30件あまりの発破解体が行われたが、そのほとんどがRCラーメン構造物であり、壁式構造物や鉄骨構造物を発破で解体した例はあまり無い。せん断壁式の構造は、国土の面積が狭く、宅地の不足が深刻なために高層にせざるを得ず、階高を低くして世帯数を増やす必要から導入されたものであり、韓国やシンガポールなどの一部のアジアの国に限定された独特の構造形式であり、発破解体が普及している諸外国でも純粋な壁式構造物の発破解体例は報告されていない。

そこで、本論文では、韓国式の壁式構造物の発破解体について、実規模の実験を行い、より効率的な工法の検討を行った。

## 2. 韓国におけるマンションの構造の変遷

1960年代に建設された大部分のマンションはFig. 1に示すように、規則的に柱を配列し、梁を渡して、床を施工した後、セメントブロックで外壁を積み、必要に応じて仕切り壁を設置する柱・梁方式の規則ラーメン構造である。<sup>1)</sup>

1970年代になると韓国政府による経済開発計画が順調に進み、勤労者の住宅を量産する必要が生じた。5階建て漢

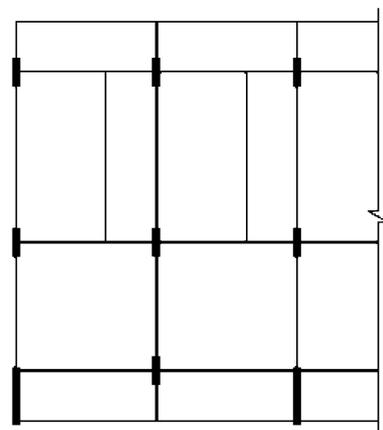


Fig. 1 One of regular shaped examples of Rahmen structure built in the 1960s (bold lines: Korean style column, thin lines: bonded brick wall).

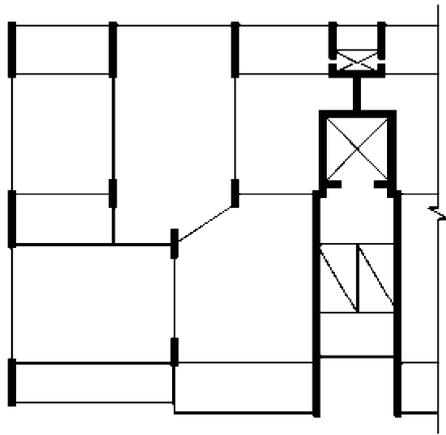


Fig. 2 One of irregular shaped examples of Rahmen structure built in the 1970s (bold lines: Korean style column, thin lines: bonded brick wall).

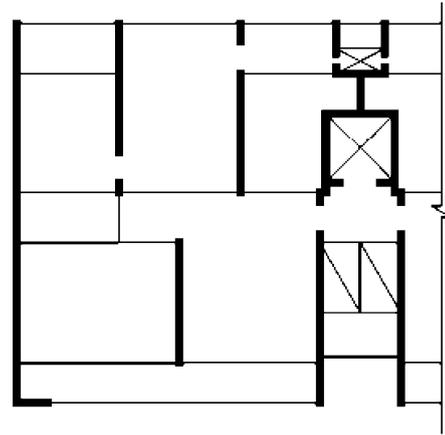


Fig. 3 One of examples of structure with shear walls developed in the 1980s (bold lines: Shear walls, thin lines: bonded brick wall).

Table 1 Standard of high pressure brick (unit : mm).

	Before 1981			After 1982	
	Nftype	2DFtype	3DFtype	Kstype	Nftype
Standard	240 × 115 × 71	240 × 115 × 113	240 × 175 × 113	190 × 90 × 57	240 × 115 × 71

江マンション, 17階建て南山外人アパート, 15階建て盤浦アパート, 同じく15階建て蚕室アパートなどが建設された。この時期は中層マンションが本格的に建てられはじめた時期であり, 後半になると工事費削減のため階高を低くし, それに要する物量を減らすための策としてFig. 2のような組積造の建物で壁の両端, 又はコーナー部位に壁の厚さと同じ小さな柱を配列し, その間に小さな梁を連結し, 残りの空間を組積造で埋める構造が主流をなした。

1980年代には, 住宅供給の拡大と高層マンションが定着しはじめた。開浦, 高德, 果川など韓国首都圏に大規模なマンション団地が建設された。従来の柱・梁によるラーメン構造から壁式構造に変化した。今までのラーメン構造では柱と梁の断面による空間占有率が大きく, 使用する鉄筋量も多かったため, Fig. 3に示すように, 世帯間の壁や仕切り壁をコンクリート構造壁に代えた壁式構造が開発された。これは, 現在のマンションの構造の始まりと見られ, 柱と梁の間にあった煉瓦やブロックの代わりに鉄筋コンクリートを用いてスラブを載せる構造であり, 大部分が20階程度の規模である。

1990年代以降になると, 鉄筋コンクリートの壁式構造マンションのみが発展したが, 壁式構造は空間構成の変更が難しいため, マンションの老朽化に伴う改造・補修が進まず, 壁式構造マンションの限界が現れてきた。したがって, 今後は壁式構造物の解体の需要が増加するものと思われる。

### 3. 壁式構造

韓国における壁式構造には幾つかの種類がある。壁体は垂直圧縮部材であり, 主として垂直荷重, 曲げモーメント, せん断力を受ける。曲げモーメントは面内および, 面外のいずれにも作用するが, 面内の曲げモーメントの影響が大

きい。壁体は主な抵抗機能によって耐力壁とせん断壁に大別される。耐力壁は垂直荷重に対する支持機能を優先する壁体であるが, 面内水平力に対してもせん断壁としての機能も有するものである。

せん断壁は壁面に水平に作用する水平力に抵抗するように設計された壁体であり, 水平力による面内の反りと剪断力のみが主対象である。

せん断壁構造とはせん断壁とスラブのみで構成される構造方式であり, 3.6~5.4 mほどの間隔で配置されたせん断壁が軸力と横力を同時に支持する方式である。韓国内でせん断壁構造方式が多く使われるようになったのは, ラーメン構造物に仕切り壁を追加することでできること, 階高を低くできること, 居住者が南向きを好むことなどの要求に十分応えられるものであったからである。しかしながら, 最近の耐震設計基準が強化されることにより, 地震に対しては不利であること, 変形能力が少ないこと, 更に高層になると壁の量, 壁体の厚さが大きくなり, 実有効空間が減少し, 自重の増大による耐震性能の低減などが問題となってきている。

## 4. 実構造物の部材実験と考察

### 4.1 城南下大院地区の高圧煉瓦造マンションの主断面壁体の試験発破

城南下大院の住宅公社アパートは1981年度に竣工された建築後20年を経過した老朽マンションである。当該アパート群は5階建てマンションが20棟あり, その内12棟はラーメン造り, 残り8棟は高圧煉瓦造り形式のマンションである。撤去対象マンション20棟の内13棟が発破解体工法で撤去された。高圧煉瓦とは, 砂と石灰を93:7の比率で混合して作った煉瓦であり, 強度が10~15 MPaで, 一般の煉瓦に比べ強い。高圧煉瓦の規格をTable 1に示す。

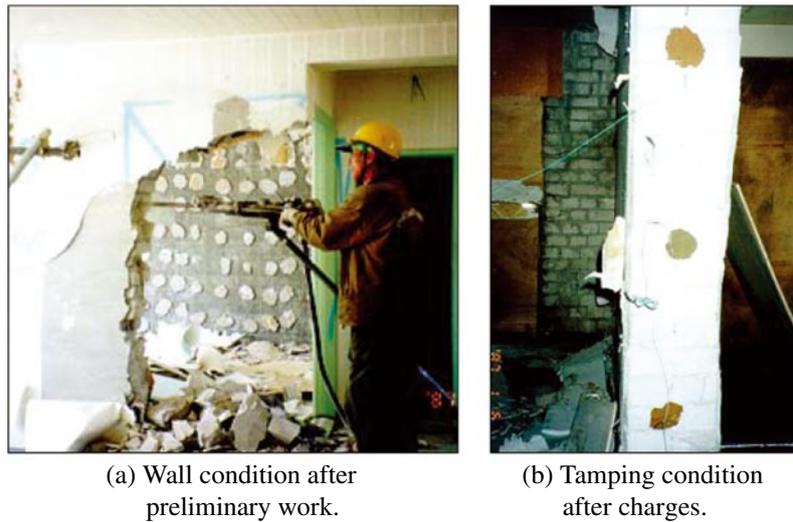


Fig. 4 Preliminary work for test blasting.

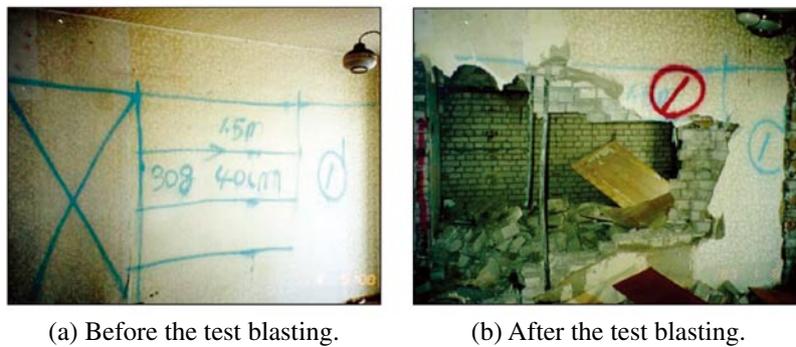


Fig. 5 Test blasting I.

Table 2.1 Blasting specification.

Test No.	Thickness of wall (cm)	Hole spacing (cm)	Number of holes (EA)	Charges (g m <sup>-1</sup> )	Depth of holes (m)	Hole diameter (mm)
I	25	40	3	30	1.5	32
II	25	50	3	30	1.5	32
III	25	60	2	30	1.5	32
IV	25	40	3	40	1.5	32
V	25	40	3	20	1.5	32

高圧煉瓦構造に対する試験発破は、マンション18棟の内1階の1世帯のみを対象に、壁体厚さ25 cmの主断面の壁体6カ所を選定して行った。対象壁体は一部をブレーカで事前に撤去し、壁体の長さ方向の穿孔作業のための空間が確保されるようにした。穿孔作業は、事前に撤去した壁体の断面からロッド長さ1.5 mの削岩機を用いて行った。穿孔長は1.5 mとした。使用した火薬類は、50グレイン (10 g m<sup>-1</sup>) の導爆線と8号瞬発電気雷管である。装薬量は試験発破に応じて導爆線を2~4本束ねて変化させた。込物長はすべて約50 cmとし、粘土を込物として用いた。導爆線はHANWHA製HiCORD plus 100である。試験発破の仕様をTable 2.1に示す。表に示すように、壁体厚さは、穿孔長と穿孔直径は各試験とも一定とした。

**試験発破 I**

まず、Fig. 4 (a) に試験発破前の壁体事前撤去中の状態と Fig. 4 (b) に導爆線を装填後、粘土で填塞した場合の写真を示した。試験発破前と試験発破後の写真を示したのがFig. 5である。なお、Fig. 5 (a) はFig. 4(a) の裏側から見たもので、写真に示した数字等すなわち、①は試験発破1、30 gは装薬量、1.5 mは穿孔長、40 cmは穿孔間隔のことである。発破の結果はFig. 5より明らかなように、壁体は完全に破碎されたが、幾分過装薬であると判断された。装薬量が多すぎたか、穿孔間隔が狭すぎたか、または両方組み合わされたかと考えられた。

**試験発破 II**

Table 2.1 に示すように、試験発破 I に比較し、穿孔間隔のみを40 cmから50 cmに広げて、実験を行った結果を示



(a) Before the test blasting.



(b) After the test blasting.

Fig. 6 Test blasting II.



(a) Before the test blasting.



(b) After the test blasting.

Fig. 7 Test blasting III.



(a) Before the test blasting.



(b) After the test blasting.

Fig. 8 Test blasting IV.



(a) Before the test blasting.



(b) After the test blasting.

Fig. 9 Test blasting V.

Table 2.2 Blasting results.

Test No.	Hole spacing (cm)	Number of holes (EA)	Chargs ( $\text{g m}^{-1}$ )	Specific charge ( $\text{kg / m}^3$ )	Amount of Charge
I	40	3	30	0.20	Over charge
II	50	3	30	0.16	Adequate charge
III	60	2	30	0.133	Under charge
IV	40	3	40	0.267	Over charge
V	40	3	20	0.133	Under charge

Table 3.1 Test condition of shear wall (1-Type).

Length of bore holes	700 mm	Specific charge	0.75 $\text{kg / m}^3$
Diameter of bore holes	40 mm	Initiation	Non-electric
Spacing of bore holes	400 mm	Connection	TLD connection
Explosives	Dynamite (25 $\phi$ )	Bore holes	4
Charge / hole	62.6	Number of detonaters	4 EA

Table 3.2 Test condition of shear wall (2-Type).

Thickness of wall	300 mm	Total charge	0.15 kg
Length of bore holes	200 mm	Specific charge	0.50 $\text{kg / m}^3$
Diameter of bore holes	40 mm	Initiation	Non-electric
Spacing of bore holes	300 mm	Connection	TLD connection
Explosives	dynamite (25 $\phi$ )	Bore holes	5
Charge / hole	31.3 g	Number of detonaters	5 EA

したのが、Fig. 6である。穿孔終端部の壁体の一部が残っているが、これは装薬孔が壁体中心から一方に偏ったためと思われる。発破結果は適当な破碎結果であったと思われる。したがって、厚さ25 cmの組積壁体を間隔50 cmで3孔穿孔し、 $30 \text{ g m}^{-1}$ の導爆線を用いた発破は、構造物の崩壊を誘導し、かつ周辺に被害を発生させない程度の適切な効果が得られると考えられる。

#### 試験発破Ⅲ

穿孔間隔を更に広く60 cmとし、穿孔数を2孔、装薬量は $30 \text{ g m}^{-1}$ として発破を行った。その結果を示したのがFig. 7である。図より明らかなように、壁体は完全には破壊されず、穿孔間隔が大きすぎるのが分かった。また、通常のコンクリートでなく、煉瓦の組積壁体であるため、煉瓦と煉瓦の連結部分が脆弱部として作用し、連結部で応力が解放されやすくなっていることが破壊状況から分かった。

#### 試験発破Ⅳ

試験発破Ⅳの条件は、Table 2.1に示すように、穿孔間隔40 cmで装薬量が $40 \text{ g m}^{-1}$ と多い。結果を示したFig. 8と試験発破Ⅰと比較すると、破壊状況は完全に粉碎されている。これは装薬量が多すぎることで、穿孔間隔も小さすぎることを意味する。

#### 試験発破Ⅴ

本実験は、試験発破Ⅳの条件の内、装薬量を $20 \text{ g m}^{-1}$ に減少して発破を行ったものである。Figure 9に示した写真より明らかなように、装薬孔を結ぶ線上に亀裂はできたが、壁全体を破壊するには至っていない。

したがって、組積壁体を破壊するには次の点を考慮して発破設計をする必要がある。

- i) 同一の装薬量を適用する場合は、組積壁体の発破孔間隔が壁体の厚さの2倍以下にすると良い発破効果を得ることができる。
- ii) 壁体厚さ25 cmの組積壁体を導爆線を用いて発破する場合には、装薬量が $30 \text{ g m}^{-1}$ において適当な破碎結果を得た。これは、穿孔数を3孔、孔間隔を壁体厚さの2倍とし、発破孔を壁体の中央に穿孔することを仮定した場合の基準である。
- iii) 組積壁体の厚さが同一のまま、発破孔間隔を大きくしようとする場合は装薬量も大きくする必要がある。また、別の実験 2) から、同一厚さの鉄筋コンクリート造壁体の場合は約 $35 \text{ g m}^{-1}$ の装薬が効率的であることがわかっている。実験結果を表にまとめるとTable 2.2のようになり、適正装薬は $0.16 \text{ kg / m}^3$ 程度と考えられる。

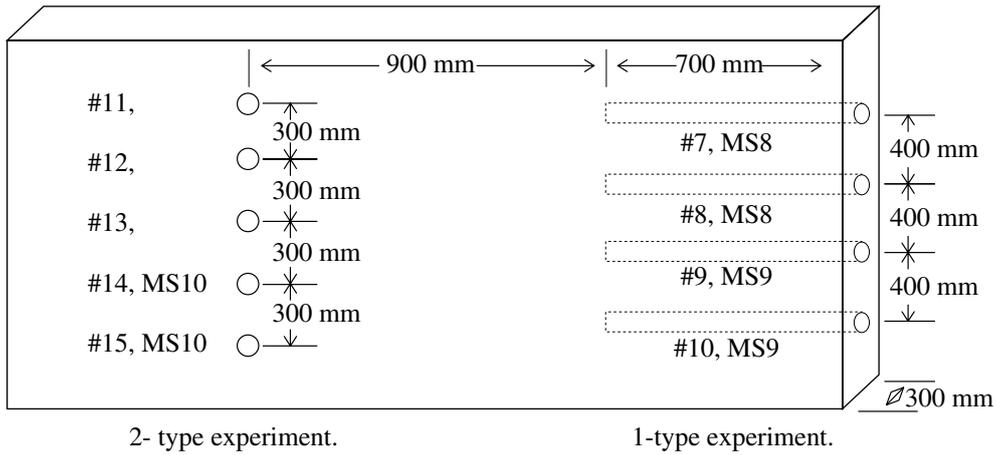


Fig. 10 Layout of bore holes for the shear wall.

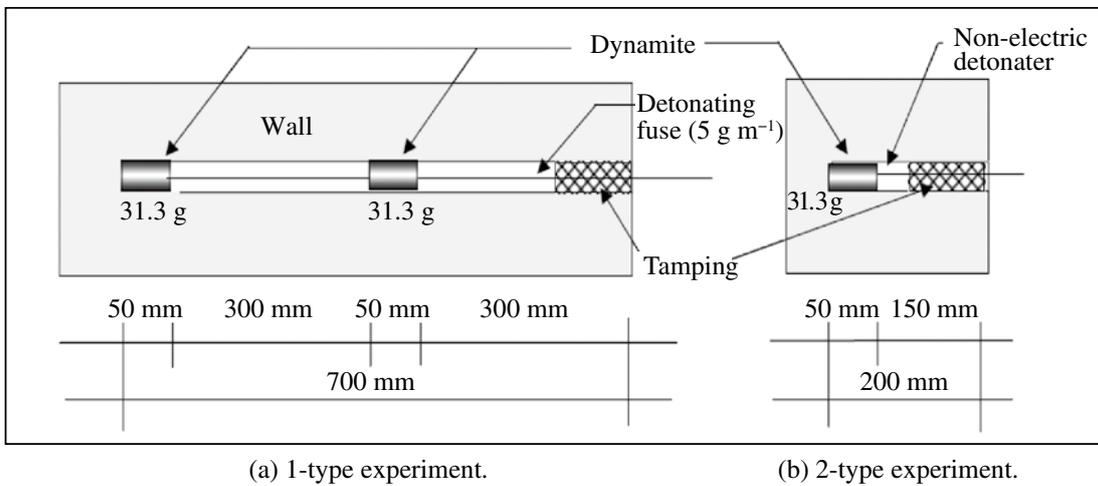


Fig. 11 Charge methods for each type experiment.

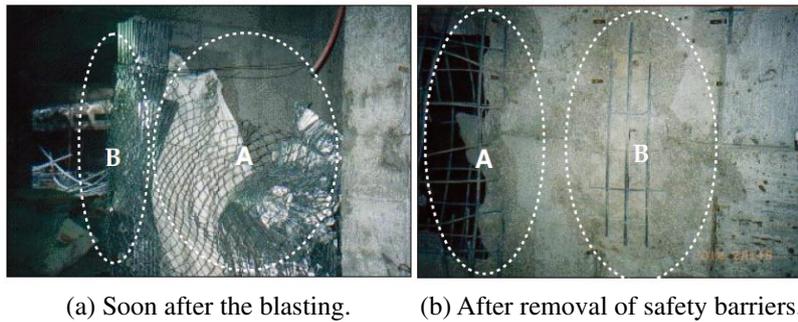


Fig. 12 One of results of blasting in the shear wall (A: 1-Type, B: 2-Type).

4.2 高陽市花井洞の韓火オフィステル新築中の剪断壁体の試験発破

本実験は既に建設されている建物を拡張するために、内部の部材を撤去する現場で行った。実験の対象となったせん断壁と発破仕様は Table 3.1, Table 3.2 に示したとおりである。Figure 10 は対象壁体の穿孔状況を示したもので、1-Type 実験は壁体の長さ方向に穿孔し、発破する実験であり、2-Type 実験は壁体の面の法線方向に穿孔し、発破する実験である。また、1-Type と 2-Type の装薬の方法を示したのが Fig. 11 である。1-Type ではデッキチャージとし、導

爆線を爆薬に貫通させた。2-Type のように壁体面に穿孔した場合は、デッキチャージは出来ないので、通常の柱を発破する場合のように装填した。せん断壁2カ所に対する発破結果の一例を示したのが Fig. 12 である。図中に示した A の部分が 1-Type 実験、B の部分が 2-Type 実験である。(a) の写真は発破直後、(b) の写真は、防護材を除去した後のものである。1-Type では壁体の長さ方向に 70 cm 穿孔して装薬量 62.3 g を適用した。写真より i) のことが考察された。

i) 上記高圧煉瓦壁体の分析で、厚さ 25 cm の壁体は導爆線で約 30 g、鉄筋コンクリート壁体の場合は 20% 増加の 35 g

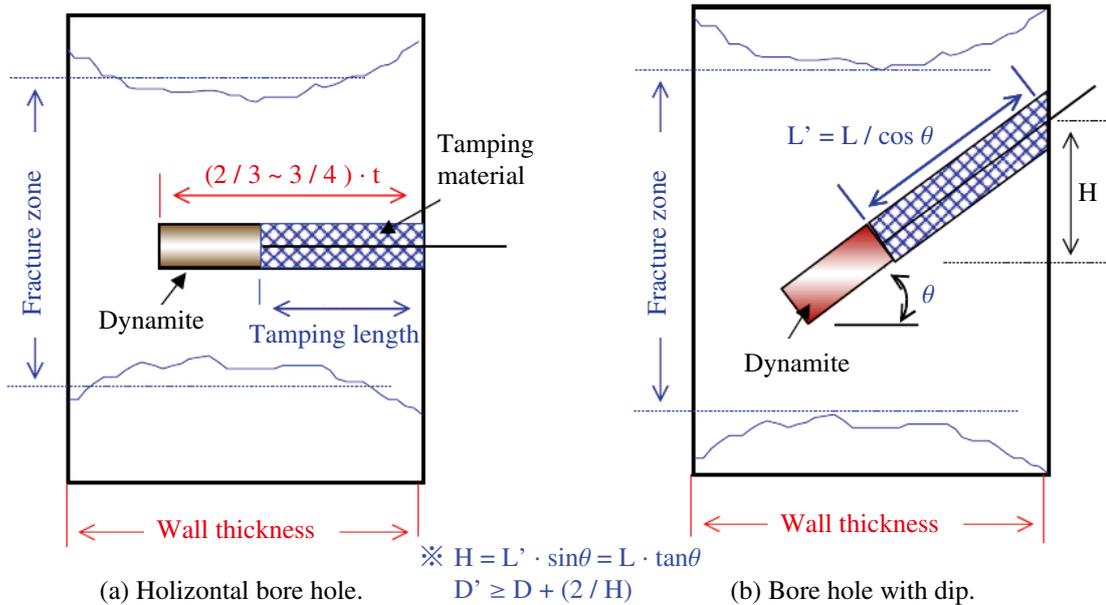


Fig. 13 Effective boring method for the wall.

が適装薬量であったので、厚さ 30 cm の鉄筋コンクリート壁体の装薬量は約 40 ~ 45 g が適正装薬量だと考えられる。ただし、導爆線は HANWHA 製 50 グレインの HiCORD plus 100 (爆速 7000 m s<sup>-1</sup>, 引張力 110 kgf), 雷管は 8 号段発雷管を使用した。また、爆薬は同じく HANWHA 製のダイナマイトで商品名は MegaMite (爆速 6100 m s<sup>-1</sup>, 密度 1.3 ~ 1.5 g / cm<sup>3</sup>) を使用した。薬径 25 mm, 薬長 220 mm, 薬重量 125 g / 個のものである。

次にこの壁体の面方向に深さ 20 cm の装薬孔に 31.3 g の火薬を装薬した 2-Type の発破の結果を見てみると、写真から明らかなように、破壊は不完全であった。上記に示したように 40 ~ 45 g が適正装薬量なので 20 ~ 30 % 少なすぎることも、今回の実験のような穿孔をすると、壁体では自由面が 2 つであるため拘束力が大きく、4 つの自由面を有する柱の発破に用いる薬量では少ないことが分かった。壁体面に装薬孔を穿孔する場合は、Fig. 13 (b) に示すように、ある角度をつける方が好ましいと思われた。

### 5. 結言

今回は、韓国の高層マンションに多く用いられている壁式構造の発破解体の基礎的な研究として、実際のマンションの壁を用いて試験発破を行った。一つは高圧煉瓦組積壁体であって、壁体厚さと適正装薬孔間隔の関係を求めた、また、飛石が少なく、かつ壁体も十分に破壊する装薬量も提案した。二種類目の壁は鉄筋コンクリート製のせん断壁体であって、壁体の長さ方向の装薬孔に対してはデッキチャージを用いた適正装薬量を提案し、壁体面の法線方向に設ける装薬孔に対しては装薬長を長くとるために斜めに穿孔する装薬孔が効果的であることを提言した。

一部火薬工業技術奨励金による研究助成金を利用した。感謝する。

### References

- 1) Chang-Nam Lee, 「建築構造の根から新芽まで」, 技文堂, 1998.
- 2) 報告書「壁式構造高層マンションの発破解体の技術開発」 Korea National Housing Corporation, Housing & Urban Research Institute, June, 2002.

# Foundational research on blasting demolition for High-rise wall-slab apartment buildings

Chul-Gi Suk\*, Hyo-Jin Kim\*\*, Kiyoshi Hashizume\*\*\*, Terushige Ogawa\*\*\*\*,  
and Kunihisa Katsuyama\*\*\*\*\*†

Since the mid-1980s, approximately 4,160,000 apartments have been built in Korea, and more than 70% of these apartments were high rise apartments having 11 floors or more. Meanwhile, most of the apartments were built in the wall-slab structure, and this kind of wall-slab high rise apartment is a building structure native to Korea of which its demolition cases cannot be found in other countries. Consequently, it can be said that it is absolutely necessary to develop and establish a safe and effective demolition technology in order to prepare for the upcoming time for demolition of wall-slab high rise apartments.

So, in this paper, fundamental experiments were carried out using real wall-slabs of apartments. As one of experiments, high pressured brick walls were used for experiments, and relation between thickness of the wall and amount of adequate charge was obtained. Another wall was the shear wall of reinforced concrete, good relation between the shear wall and amount of adequate charge was obtained.

**Keywords:** Blasting, Demolition, Wall-slab, Shear wall, KOREA.

\*Korea Kacoh Co.Ltd, Seoul, KOREA

\*\*Korea National Housing Corporation, Seoul, KOREA

\*\*\*Japan Explosives Society, 〒106-0032 Kaseihin Kaikan Bldg. 5-18-17, Roppongi, Minato-ku, Tokyo, JAPAN

\*\*\*\*Yokohama National University, 〒240-8501 156 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama, JAPAN

\*\*\*\*\*Ehime University 〒790-8566 1357 Tarumi, Matsuyama, Ehime, JAPAN

†Corresponding address: katsuyama@agr.ehime-u.ac.jp