

静的破碎剤について

山崎之典*

岩石やコンクリート等の脆性物体の破碎や解体の静的破碎工法に用いる薬剤として定着しつつある静的破碎剤につき、その開発経過および最近の傾向について紹介した。

1. はじめに

静的破碎剤とは、岩石やコンクリートを無公害で安全に破碎したり解体する工法の静的破碎工法に用いられる水和膨張性物質のことであり、他に、膨張性破碎剤、化学的破碎剤、静的破碎剤とも言われている。

近年、破碎対象となる物件は、生活環境が複雑化される中で、単なる破碎とか、解体から、部分破碎、限定破碎や周辺生活活動への配慮をした特殊破碎等と多様化してきている。また、都市部では、再開発の必要が高まる中で、構造物の解体には、環境破壊や公害の点から、適用できる工法が、限定されてきている。

一方、ビル解体については、これまで、日本では使用が難しいとされていた火薬による一斉破碎の方法が見直され、その破碎効率、解体期間の短縮の効果を活用するための関係機関の検討が昨年より開始され、5年後には許可されるのではないかと報道もある。

こうした中で、静的破碎剤は、昭和54年4月に初めて市販され、取り扱い上で、火薬類や危険物のような法的規制もないことから、その適用分野を拡げてきた。現在、推定使用数量は、3000~3500t/年で、市場規模は20~30億円で、やや横ばい状況である。しかし、昨年従来品より短時間で破碎できる商品が市販され、新しい動きが出始めている。

2. 従来タイプの静的破碎剤の経過

静的破碎剤の研究は、昭和40年頃より始ったようである。その当時は、セメント膨張材が市販された時代で、水和膨張性の物質をうまくコントロールして活用しようとする気運があった頃である。このあたりの事情については、笠井¹⁾が詳しく紹介しているので、その要点を記す。

CaOやMgOの水和膨張性物質をコンクリートの破碎に利用する技術は昭和43年に技研興業株式会社よ

り特許出願されている²⁾。その内容は、生石灰あるいはMgOを水で練って、コンクリートに穿孔した孔に充填し、その水和反応による膨張圧によって建物を壊す工法である。この当時の生石灰の膨張圧による破壊方法については、笠井より昭和44年に「構造物の解体工法の現状と将来」³⁾に記載されたのを含め、数か所に開発中として紹介されている^{4), 5)}。当初は、生石灰の水和反応が早いので、生石灰スラリーの混練やスラリーの充填までの作業時間を確保するために、水和反応の遅延剤の研究に主眼が置かれていた。遅延剤としては、グリセリン、アルコール等があげられている。また、発生する膨張圧としては、持統圧縮応力と膨張率との関係から300~350kgf/cm²が、期待されていた。

昭和47年頃になると生石灰以外に水和膨張性物質の利用も考えられ、セメント膨張材に利用されていたC.S.A.やエトリンガイトを生成するCaO, Al₂O₃, SO₃を含有する物質の組み合わせ、普通セメントとせつこう、CaO等との混合物系組成物による破碎剤の研究も行われている⁶⁾⁷⁾。

この他にも、生石灰と水との反応時間や、作業時間も確保するために、生石灰を充填後に水と接触させたり、水を注入する方法等いろいろ考案されている。

しかし、以上のいずれの方法でも膨張反応の制御、施工上の煩雑さおよび経済性の理由から実用化には至らなかった。

昭和50年代になって、生石灰系のセメント膨張剤が静的破碎剤に応用できることが見いだされている⁸⁾。この技術を発展させて、世界で初めて実用化された静的破碎剤が、昭和54年4月に発売された小野田セメント(株)の“ブライスター”である。これは、CaOを50%含有する3CaO-CaO-CaSO₄系クリンカの粉末で、CaO結晶粒を3CaO-SiO₂やCaSO₄-3CaO-Al₂O₃-4CaO-Al₂O₃-Fe₂O₃系の間隙質物質で包むことによってCaOの水和反応を制御し更に、膨張圧を高め、作業性を改善するために減水剤が添加されていること

昭和62年10月7日受理

*日本セメント株式会社 中央研究所
〒135 東京都江東区清澄 1-2-23
TEL (03)642-7171

表-1 市販された従来型の静的破砕剤

昭和62年9月現在

項目 No	メーカ	商品名	タイプ	種類(適用温度)	発売時期
1	○ 小野田セメント	ブライスター	バルク バック	100 (15~35℃) 150 (10~20℃) 200 (5~15℃) 300 (-5~5℃) その他大孔径用	S54年4月
2	○ 住友セメント	S-マイト	バルク	B型 (20~35℃) A型 (10~20℃) S型 (-5~10℃) その他大孔径用	S55年1月
3	○ 古澤石灰工業	スプリッター	バルク カートリ ッジ	Blue (20~35℃) Green (10~25℃) Orange (5~15℃) Red (-5~5℃) その他大孔径用	S56年10月
4	○ 日本セメント 日本油脂 日油技研工業	カムマイト	バルク カプセル	S型 (20~35℃) M型 (10~20℃) W型 (0~10℃) L型 (-5~5℃) その他大孔径用	S57年3月
5	○ 電気化学工業	ケミアックス	バルク	#25 (30~40℃) #15 (10~30℃) #5 (0~10℃) その他大孔径用	S57年8月
6	大阪セメント	レオマイト	バルク	H-B (20~40℃) C-B (0~20℃) F-B (0~5℃)	S58年1月
7	宇部興産	ウベマイト	バルク	#25 (25~35℃) #15 (15~25℃) #5 (5~15℃)	S58年1月
8	三菱鉱業 セメント	ロックパンチ セメント	バルク	夏用 (20~35℃) 秋用 (10~25℃) 冬用 (5~15℃)	S58年1月
9	セントラル硝子	サイレックス	バルク	暖期用 (10~40℃) 寒期用 (-5~20℃)	S59年2月

注) ○印は、建設省の技術評価制度に応募し、評価書を公布されたメーカ。
No6~No9は、製造、販売を中止している。

を特徴としている。

その後、昭和55年4月に住友セメント(株)より“S-マイト”¹⁰⁾が、昭和56年10月に吉沢石灰工業(株)より“スプリッター”¹¹⁾が、発売されている。これらの商品は、1日後破砕を目標としたものであり、1日後に約300kgf/cm²の膨張圧を発現できるものであった。

このような状況から、新技術の開発および普及を目的とする建設省の「建設技術評価規程」により、昭和56年度建設技術評価制度研究開発テーマの一つに「膨張圧を利用した破砕工法の開発」が、採り上げられた。これに応募した者に対し、書類選考、確認破砕実験が行われ、開発目標を満足した5種類の破砕剤に対して評価書が公布された^{12)、13)}。この成果として、静的破砕剤の品質が標準化されたことがあげられる。すなわち、静的破砕剤の破砕力は半日で発揮され、その膨張圧は300kgf/cm²以上であること等である。これを機会に、製造メーカーも増加し、表-1に示す9商品が、市販されたが、現在は、そのうちNo6~9の4社が、販売を中止している。各商品とも使用の適用温度

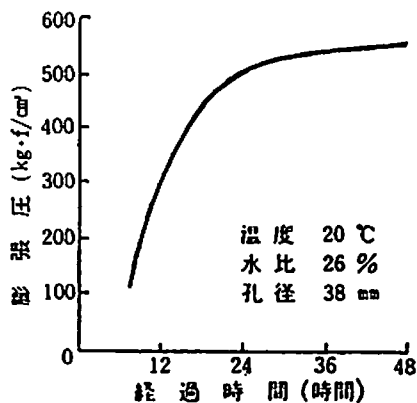


図1 破砕剤の膨張圧発現曲線例

を数段階に分けるとともに、適用孔径を普通孔径(標準φ40)と大孔径(標準φ65)に分けて品揃えがなされている。これらのなかで、日本セメント(株)の“カムマイト”はバルクタイプの他にカプセルタイプもあることを特徴としている。バルクタイプは、粉末を水と混練しスラリーとして注入するのであるが、カプセ

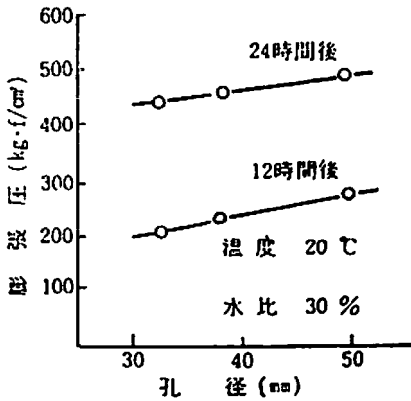


図2 孔径と膨張圧の例

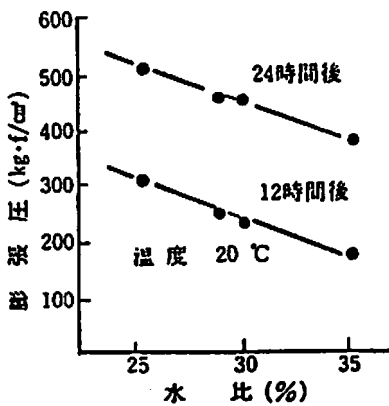


図3 破砕剤の膨張圧と水比の関係例

ルタイプは、静的破砕剤の粉末を紙袋に詰めたカプセル(φ30×250mm)を3分間水に浸漬して吸水させ、孔に突棒で密充填していく方式である。その後、同方式のものが、小野田セメント㈱のバックおよび吉沢石灰工業㈱のカートリッジの名称で販売されている。

3. 静的破砕剤の性能と一般的な施工手順

従来型の静的破砕剤の種類は、多くだされているが、生石灰の水和反応による膨張圧を利用すること、使用環境温度や適用孔径別に品種を選定して使用すること等で性能は類似している。一般的な特性値の例と施工手順を図1～図4に示す。

なお、膨張圧の測定には、厚肉鋼管円筒式によって内圧を求める鋼管法(水中養生)が、用いられている¹³⁾。

穿孔条件は、孔間隔を孔径の7～10倍を標準とするが、詳しくは、メーカーのカタログや、他の文献^{15)、16)}を参照することとし、ここでは省略する。

4. 静的破砕剤による特殊工法

静的破砕剤の特性を生かして各種の工法が考案され、実用化されている¹⁷⁾。大規模岩盤では、破砕効率を上げるために、穿孔径150mm、孔間隔2000mmで破砕することがある。このためには、特殊な大々孔径用の破砕剤が用いられる。また、このような場合、孔の下部に破砕剤を充填し、亀裂が入ってくるところで、孔口よりクサビを打ち込んで破砕する工法もある¹⁸⁾。

トンネルの無発破掘削工法では、切羽中央部にスリ

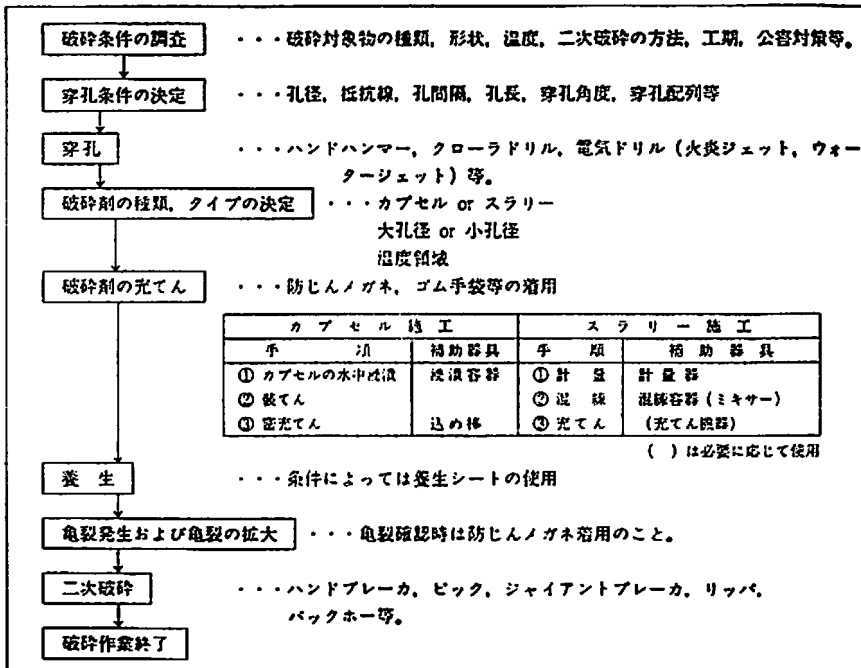


図4 破砕施工手順¹⁴⁾

ットをあげ、その外周部に静的破砕剤を充填し、亀裂を入れて、大型ブレーカで掘削する方法がとられている。

コンクリート床の補修には表層の4~5cmをはつる必要がある。このような場合には、はつる予定の深さまでカッティングマシンでmm巾の溝を切り、この溝の一つ置きに静的破砕剤スラリーを注入すると12時間程度でコンクリートが剥離してくる限定はつり工法が有効である。

土木建築現場で場所打ちされる基礎杭の余盛部分は必ず取り除かなければならない。このような場合には、杭の上部にあらかじめシース管をセットし、コンクリート打設後、このシース管に静的破砕剤を注入できるようにするか、前もって、遅効性の静的破砕剤をシース管に充填し、これをコンクリート打設時に所定の所に埋込むことによって、余盛部分を無騒音で除去することができる¹⁹⁾。

5. 迅速破砕剤と迅速破砕工法

昭和58年4月に静的破砕剤の5メーカー(小野田、住友、日本、電化、吉沢石灰)によって静的破砕剤委員会が設置され(62年4月より旭化成参加)、安全指導を中心に共通な問題点の解決や情報交換の活動が行われている。この委員会によって、静的破砕剤についてのユーザーに対するアンケート調査が、昭和60年10月

に実施された。これによると、ユーザーの関心は高く、無公害、安全性については、約70%が満足している。その反面、破砕剤への要望事項として、価格低減(69%)、破砕時間の短縮(51%)、破砕力の向上(47%)が、主としてあげられた。

静的破砕剤による破砕時間を短縮するには、生石灰の水和反応を迅速に行わせる必要がある。この反応が迅速になると水和熱(CaO1モル当り15.5kcal)で、充填孔内で温度が急激に高まり100℃以上となるため、孔内の自由水が急激に気化し、高圧の蒸気が発生し、孔内の破砕剤を一気に噴出することがある。いわゆる鉄砲現象を起こし、非常に危険な状態となる。したがって、迅速破砕を行うためには、これを抑止する方法を開発しなければならない。

噴出抑制方法については、古くから機械的方法や治具による方法を中心に種々考案されているが、実用化されたものはなかった。ところが、ここ1、2年の間に、発生蒸気を逃がす方法、孔口を密栓する方法を取り入れて噴出を抑制する方法が開発されて、迅速破砕剤が商品化されている。これらをまとめて表-2に示す。なお、データは、各社のカタログから採用したものである。また、迅速型発破剤の膨張圧の測定については統一されていないので、カタログ上の数字で性能を比較することができない。

表-2 迅速型静的破砕剤と迅速破砕工法 昭和62年9月現在

No	メーカ	商品名 (破砕剤名工法名)	破砕剤種類 (適用温度)	発売時期	備考
1	大成建設 日本油脂 日油技研工業	カーミット工法 (カームマイト)	カプセル S型 (20~35℃) M型 (10~20℃) W型 (0~10℃) L型 (-5~5℃) (φ38~42用)	S59-11	カームマイトカプセルをサーミット(点火剤)で反応促進。 時間制御破砕。
2	小野田 セメント	スーパー ブライスター	顆粒 1000 (0~35℃)	S60-10	φ40~72用
3	日本セメント 日本油脂 日油技研工業	ハイパワー カームマイト (略称ハイカーム)	カプセル S型 (20~35℃) W型 (0~20℃) (φ38~42用)	S61-6	キャップエース(止栓剤カプセル)で孔口を止栓
4	吉澤石灰工業	スーパー スプリック	カートリッジ S1 (20~35℃) S2 (10~20℃) S3 (0~10℃)	S61-8	φ40~65用 φ40~65用 φ40~50用
5	旭化成	HEAD工法 (アスタックエース)	ピース2035 (20~35℃) 1020 (10~20℃) M10 (0~10℃) (φ38~42用)	S62-1	アスタックエース(破砕剤)を、チップ(密充填機)で、打撃充填。
6	住友セメント	S-マイト スーパー	カートリッジ S型 (0~10℃) A型 (10~20℃) B型 (20~30℃) (φ38~42用)	S62-7	φ35の突き棒で充填
7	日本セメント 日本油脂 日油技研工業	ハイカームマイト ・30	カプセル S型 (20~35℃) W型 (0~20℃) (φ38~42用)	S62-9	キャップエース使用 可使時間を長くしたもの

カーミット工法は、昭和59年11月より発売され、迅速破碎を最初に実現したものである。充填されたカムマイトカプセルの間に、テルミットよりなる加熱剤「サーミッター」を設置し、これを内蔵してあるヒーターに通電加熱することによって着火させ、この反応熱(1000℃)によってカムマイトの反応を迅速化させる。また、発生する蒸気は、リリースコードを引き抜いた後の数mmの小孔より系外に放出させ、噴出を防止している。坂野、石井、斎藤、辻ら^{20)・21)}によると、これによって孔内温度は5分位で、局部的に200℃になり、生石灰の水和は順次進み、10分後で600kgf/cm²の膨張圧が得られている。

スーパーブライスター²²⁾は、静的破碎剤のみで迅速破碎できるようになっている。すなわち、数mmの顆粒状のスーパーブライスターをあらかじめ孔長の半分の深さまで注水した孔の中へ投入落下させ、細い棒で突きながら孔口まで装填する。こうすることによって、孔内に空隙ができ、ここから蒸気が抜けるので噴出が防止される。

ハイパワーカムマイト(略称、ハイカム)²³⁾は、迅速でしかも高い破碎力を有するものとして、最初に実用化された静的破碎剤である。ハイカムのカプセルを常法通り吸水させ密充填後、孔口部分(深さ8cm位までの所)に専用の止栓剤カプセル「キャップエース」を水に漬けて充填する。数分で「キャップエース」が激しく水合し、蒸気が抜け出る。この反応熱でハイカムが孔口側より順次反応し、密栓を形成し、噴出を制御するとともに、1時間以内に900kgf/cm²以上の膨張圧が得られている。この場合、孔内温度が約300℃になるが、このような条件で、高膨張圧を測定するには、同じ水中鋼管法であるが、種々の工夫が必要とされている²⁴⁾。

スーパースプリッターは、数mmの顆粒状の破碎剤を孔径に合せた紙袋に詰めたカートリッジタイプである。カートリッジを水に浸漬させたものを充填することによって、約30分で破碎圧を発生する。

HEAD工法は数mmの顆粒状の破碎剤と合繊不織布でビース状に包装したアスタックエースを、数秒間水に浸漬した後、打撃式の充填機で密充填することを特徴としている。この際充填圧が不足すると、破碎剤空間に残存する水分の水蒸気化により噴出することもあり、打撃力が過大であると剤が泥化して所期の充填圧が得られないため、充填機の仕様を限定している。発生する膨張圧は、900~1000kgf/cm²とされている。

S-マイトスーパーは、粉末状の破碎剤を紙袋に詰めたカートリッジタイプで、これを水に浸漬し吸水させて突き棒で充填するだけで、迅速に900kgf/cm²以

上の高膨張圧が得られることを特徴としている。

ハイカムマイト・30は、破碎剤およびこれと組み合わせるキャップエースの水和開始時間をハイパワーカムマイトより遅くし、充填作業に余裕を持てるようにし、安全性を高めた迅速高膨張破碎剤である。

以上の迅速性の破碎剤は、いずれも短時間に孔内温度が上昇し、孔内に蒸気を発生するため、間違った扱いをすると噴出する危険があるので、各メーカーの施工要領をよく知った上で、扱うことが特に望まれる。

6. 静的破碎剤の膨張圧発生機構

現在市販されている静的破碎剤の膨張圧は、生石灰の水和によるものである。しかし、その膨張圧の発生については、十分に解明されていない。筆者の実験によって得られた知見をもとにその発生機構について述べる。

厚肉鋼管に生石灰を主体とする破碎剤類似の配合物を水比28%で混練したスラリーを注入し、発生する膨張圧の測定と水和組織の観察および硬化体内部に生成する空隙の変化の測定を行った。養生方法は、常温(25℃)と、反応性の高い生石灰カプセルを口元上部に詰めることによって加熱迅速化する高温促進を行い比較した²⁵⁾。その時の、両養生の膨張圧の発現および破碎剤温度の変化は、図5のようであった。また、950kgf/cm²の膨張圧に達した時の鋼管内部の硬化体

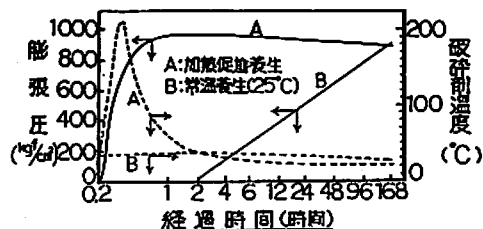


図 5. 膨張圧および破碎剤温度の変化



写真 1 生石灰水合物のSEM像 (膨張圧950kgf/cm²発生時)



写真 2 生石灰水和物の圧密硬化体の薄片写真
白色部—水酸化カルシウムのリム
黒色部—未反応生石灰粒子

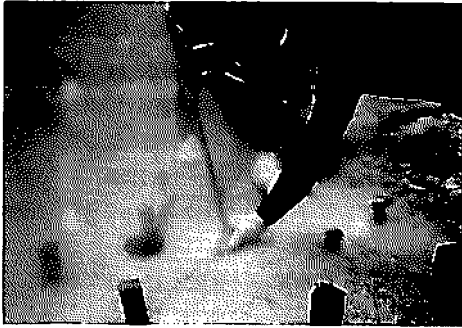


写真 3 海中での破砕剤充填作業

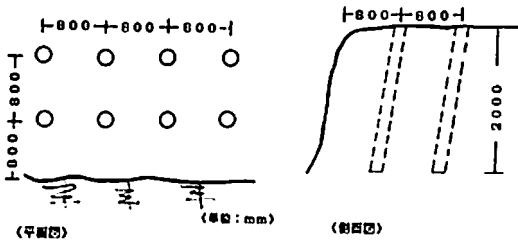


図 6 ベンチカット破砕例
岩質：安山岩 孔径：67mm
破砕剤原単位：9kg/m³

組織は、写真1および2のようであり、生石灰の粒子の周囲に水酸化カルシウムの微細な結晶がリム状に増大し、膨張圧を発生していることがわかる。生成する水酸化カルシウムは、微晶質で不定形状の微粒子(1000Å以下)で、圧密体となっている。

硬化体内部に存在する空隙は、膨張圧発生とともに増大し、減少することはない。このことからすると硬化体内部では、初期段階の気泡や水等の空隙に相当する部分を水和物が埋めながら新たにできるゲルポアのような微少な細孔との再編成がなされ、総合的には硬化体の空隙を増大し、膨張圧を発生しているものと考えられる。

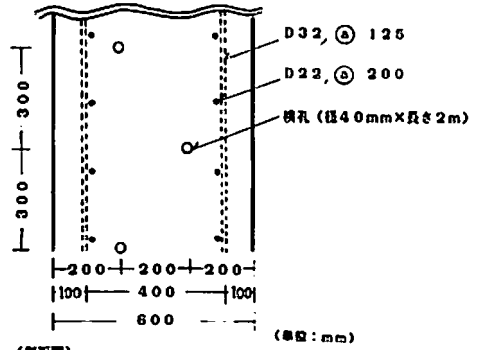
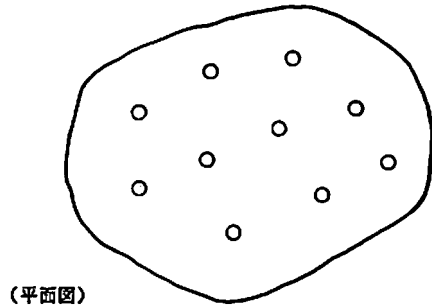
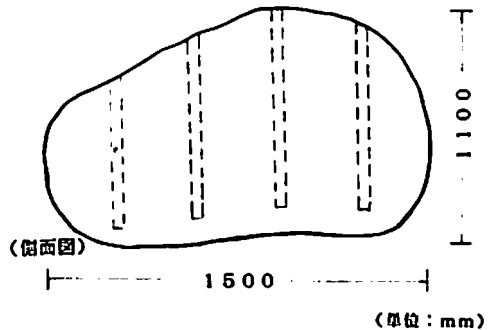


図 7 有筋コンクリート(壁)破砕例
壁高：5m 壁長：6m 壁厚：0.6m
破砕剤原単位：12kg/m³



(平面図)



(断面図)

図 8 海中塊石破砕例
岩質：花こう岩 孔径：36mm
孔長：岩厚×80~90% 孔間隔：30~40cm
破砕剤原単位：13kg/m³

これらの膨張圧発生の基本機構は、常温、迅速高温促進養生で大きな差はない²⁶⁾。

7. 静的破砕剤の施工例

7.1 ベンチカット

高さ2mで安山岩をベンチカットした施工例を図6に示す。

7.2 有筋コンクリートの破砕例

壁高5mの地下連壁の破砕例を図7に示す。

7.3 水中破砕

海中の塊石の破砕例を図8に示す。海中充填の様子を写真3に示す。

8. あとがき

静的破砕剤の約20年間の発展経過を文献を中心に紹介した。静的破砕剤が、火薬、重機等による破砕に不適な対象物件や、これら他工法との併用で破砕効率を上げる利点を活用できる物件等において利用されることを期待する。

文 献

- 1) 笠井芳夫, コンクリート工学, 20, 10, 8~17 (1982)
- 2) 特許公報 昭48-6903, 出願人 技研興業(株)
- 3) 笠井芳夫, 建築雑誌, 10, (1969)
- 4) 笠井芳夫, セメント・コンクリート, No.279, 23~32(1970)
- 5) 笠井芳夫編「コンクリート構造物の解体工法」, p.100~103(1970), 日刊工業新聞社
- 6) 中川宗夫, 三浦勇雄, 毛見虎雄, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造系), p.255~256(1972)
- 7) 特開昭54-15925, 出願人 戸田建設(株)
- 8) 笠井芳夫, 山田 徹, 加藤 誠, 石膏と石灰, No.139, 30~36(1975)
- 9) 河野俊夫, 石膏と石灰, No.176, 41~48(1982)
- 10) 松井一郎, 山田尚, 近藤秀貴, 土木施工, 23, 12, 25~32(1982)
- 11) 分嶺 忍, 石灰, No.353, 5~18(1985)
- 12) 小林茂敏, 第208回建設技術講習会テキスト, p.77~91(1983)
- 13) 花田光雄, 分嶺 忍, 石灰, No.363, 4~12 (1986)
- 14) 石沢 清, 骨材資源, No.59, 159~168(1983)
- 15) 渡明 明, セメントコンクリート, No.242, 20~32(1983)
- 16) 原田哲夫, 出光 隆, 渡辺 明, 土木学会論文集, 第360号/V-3, p.61~70(1985)
- 17) 江川常次郎, 石灰石, No.217, 29~38(1985)
- 18) 宮地明彦, 橋詰 清, 日本国土開発技術研究報告, No.3, 1~21(1983)
- 19) 竹之内好博, 中川征勝, 建築技術, No.406, 85~91(1985)
- 20) 坂野良一, 石井康夫, 斎藤孝夫, 辻 進三, 工業火薬協会誌, 45, 5, 290~295(1984)
- 21) 坂野良一, 石井康夫, 斎藤孝夫, 辻 進三, 工業火薬協会誌, 47, 1, 10~16(1986)
- 22) 石井四郎, ファイン・ケミカル, p.5~12(1986, 10, 15)
- 23) 坂口道明, 山本洋一, 発破, No.15, 1~11 (1986)
- 24) 山崎之典, 五味忠夫, 中島雄二, 第41回セメント技術大会講演要旨集, p.276~277(1987)
- 25) 山崎之典, 榊原善朗, セメント技術年報, 40, 578~581(1986)
- 26) 山崎之典, 石膏と石灰, No.208, 51~59(1987)

Static Demolition Agents

by Yukinori Yamazaki*

(Association of Non-explosive Demolition Agent)

The demolition technique using static demolition agents has been widely adopted for breaking concrete structures, rock and the like in construction or engineering works as a safe and non pollution method.

In this paper, the progress of static demolition agents, kinds and properties of them, and mechanism of expansive pressure with hydration of them were explained on the basis of references.

(*Central Research Laboratory of Nihon Cement Co., Ltd. 1-2-23, Kiyosumi, Koto-Ku, Tokyo)