



特殊発熱剤添加による膨張性破砕剤の 破砕効果について (第2報)

—加熱方式及び反応促進効果について—

坂野良一*, 石井康夫*, 斉藤孝夫**, 辻 進三**

筆者らは、第1報において、膨張性破砕剤の含水後2~4時間、つまり初期膨張圧が発現した時点で、特殊発熱剤により膨張性破砕剤を加熱すると、膨張性破砕剤の反応促進に効果のあることを報告した。

第2報の研究では、さらに膨張圧の発現を早くするために、膨張性破砕剤含水後10~30分という、ごく弱齢下の膨張性破砕剤を加熱することによって所定の破砕膨張圧に、より早く導き得ることを確認した。

それに伴ない装填方法などに検討を加え、より実用性を高め得ることに成功した。

1. 緒 論

膨張性破砕剤(以下破砕剤とする)は、破砕に有効な膨張圧に到達するのに長時間を要し、各装填孔に充填された破砕剤の膨張圧発現までにバラツキを生ずるなどの問題点がある。

これらの問題を解決するために、第1報では、破砕剤を水和させた後、初期膨張圧を発現させ、装填孔と破砕剤との付着力を 1.4kgf/cm^2 以上発生させた状態、つまり特殊発熱剤(以下発熱剤とする)の反応に伴う圧力を押える効果が生じた状態で加熱する方式をとることで、破砕剤の膨張圧発現を促進する方法を報告した。

この方式は破砕剤の初期膨張圧の発現までは発熱剤の点火ができない方式であり、実用上、破砕剤含水後から点火までに2~4時間を必要とし、施工管理上幾分問題が残る。本稿では発熱剤からの熱量を有効に破砕剤に伝ばさせるために、破砕剤の含水比が含水直後に近い状態つまり破砕剤含水後10~30分という時間帯で加熱することに着目した。

そして、この条件下での加熱方式を検討すると共に、この方式による破砕剤の反応促進効果について知見を得たので報告する。

昭和60年5月22日受理

*大成建設株式会社 土木本部土木部
〒160-91 東京都新宿区西新宿 1-25-1
TEL 348-1111

**日油技研工業株式会社 川越工場
〒350 埼玉県川越市藤井 1995-4
TEL 0492-31-2103

2. 加熱方式に関する実験

第1報で述べたように、発熱剤を装填孔孔底に装填し、その上部に含水させた破砕剤を充填し、初期膨張圧発現後に点火すると、破砕剤含水比がかなり低下した状態における加熱となるため、発熱剤からの熱伝ば効率が悪い。

したがって含水後、10~30分という、含水比の高いごく弱齢下の破砕剤を加熱の方が熱伝ばに有効であると考えられることから、この時間帯での加熱方式を検討した。

2.1 発熱剤の装薬量に関する実験

弱齢下の破砕剤を用い、第1報で述べた方式(A方式とする)と、発熱剤より生ずる反応燃焼圧($30\sim 35\text{kgf/cm}^2$)を大気中に解放し、それから発生する熱量のみを有効に利用するため、小口径の気道(以下リリーフ孔とする)を充填された破砕剤中に設ける方式(B方式とする)とで、発熱剤上部に充填された破砕剤の発熱剤加熱にともなう挙動について実験した。

2.1.1 A方式による実験

Fig.1に示すように内面にセメントモルタル層を設けた装填孔径 $\phi 38\text{mm}$ 、有効装填長500mmの鉄管を用い発熱剤の量は、50g, 30g, 25g, 20g, 10g.とし、破砕剤は含水後900gづつ充填して発熱剤の量と発熱剤点火後の破砕剤の状態との関係を確認した。なお発熱剤の点火は、破砕剤含水後10分とした。

結果はTable 1に示すように、発熱剤量50g, 30g, 25gは発熱剤点火直後に噴出、20gは発熱剤点火後、徐々に破砕剤が押出されるが噴出は無い状態になり、

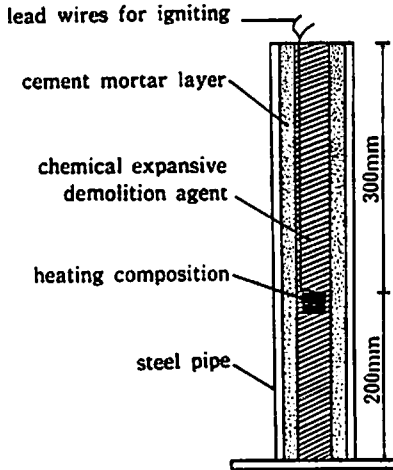


Fig. 1 The visual method of checking the condition of the demolition agent heated by the heating composition (case A)

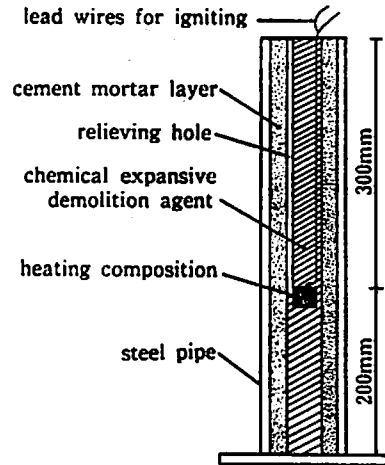


Fig. 2 The visual method of checking the condition of the demolition agent heated by the heating composition (case B)

Table 1 Relation between the quantity of the heating composition and the demolition agent spurting from the hole (case A)

heating composition (g)	10	20	25	30	50
spurting possibility	○	△	×	×	×

the heating composition was ignited 10 min after the demolition agent absorbed water

○ : not spurting

△ : not spurting but being pushed out

× : spurting

Table 2 Relation between the quantity of the heating composition and the demolition agent spurting from the hole (case B)

heating composition (g)	10	20	25	30	50
spurting possibility	○	○	○	×	×

the heating composition was ignited 10 min after the demolition agent absorbed water

○ : not spurting

× : spurting

10gについては噴出、押し出しとも生じなかった。

2.1.2 B方式による実験

Fig. 2に示すように、破砕剤中に発熱剤と大気とを連結させるようにリリーフ孔を設けた方式で、A方式と同様の条件下で発熱剤点火後の破砕剤の挙動を観察した。

結果はTable 2に示すように発熱剤量10g、20g、25gでは発熱剤点火後、リリーフ孔から反応燃焼圧が解放されていることが認められ噴出は生じなかったが、30g、50gは点火直後に破砕剤が噴出した。

これらのことから発熱剤量25g以下でリリーフ孔を設け、発熱剤燃焼時の燃焼圧力を大気中に解放することにより、破砕剤の噴出を防止できることが確認された。

2.2 加熱効果による破砕剤の反応性

Fig. 3に示すように内面にセメントモルタル層を設

けた装填孔径φ38mmの鉄管に、発熱剤、破砕剤を装填し、破砕剤中に200mm間隔で4点熱電対を埋設し、破砕剤含水後10分で発熱剤に点火し、破砕剤の温度上昇を測定した。

結果はFig. 4に示すように、200mm間隔で測定した、P1、P2、P3、P4点の温度が順次上昇し熱伝ば速度は、5cm/minであった。

つまり破砕剤が順次温度上昇したことを示すものである。このことは発熱剤の反応熱で破砕剤の反応が励起されたと考えてよく、すなわち熱伝ば速度は、促進化された破砕剤の反応速度といえる。

2.3 破砕剤の膨張圧発現速度

Fig. 5に示すような方法で鉄管により発熱剤点火後の膨張圧の発現速度を測定した。発熱剤の点火は破砕剤含水後10分とした。

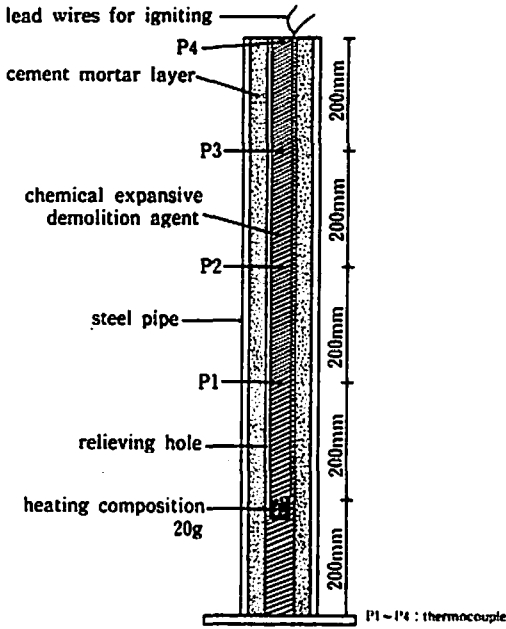


Fig. 3 The method of measuring the temperature in the demolition agent

膨張圧の測定法はひずみゲージを用いて行ない、さらに温度ゲージを対称位置におく方法として破砕剤の反応促進に伴う熱の影響は校正表により補正した。

結果は Fig. 6 に示すように発熱剤点火後 2 分で膨張圧の上昇が始まり 10 分程度で膨張圧上昇が完了した。

Fig. 4 に示される P1 は、発熱剤より 200mm 位置の破砕剤の温度変化をとらえたものであり、これに対応する位置の破砕剤の膨張圧力は、Fig. 6 の P12 に対応する。

P1 が、測定された破砕剤の反応温度のうちピーク

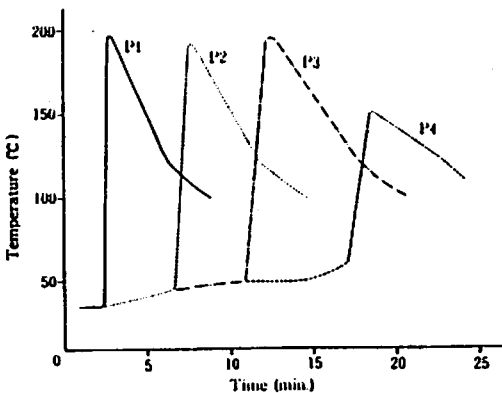


Fig. 4 Temperature curves of each measuring point (P1~P4)

値となり、その温度は、約 200°C と他の測点と比較し、最高値となった。

これに対応する、Fig. 6 の P12 の膨張圧力は、最高値で約 600kgf/cm² となった。この値は、加熱しない自然状態で進行する水和反応を経て得られる膨張圧力約 400kgf/cm² に比較すると、より高い膨張圧力となったが、このことは、強制加熱により破砕剤を反応開始させると、破砕剤固有の膨張圧力に比べ、発現圧力の高いゾーンが破砕剤中に生ずることがわかった。

一方、Fig. 6 の P11, P13 は、P12 の値に比較して低い膨張圧力となるが、この原因として、P11 においては、P12 に比較し、発熱剤により近接する場所となるため、圧力上昇開始は早く始まるものの、破砕剤固有の反応速度より、破砕剤の反応を促進しすぎるため、つまり発熱剤からの熱伝ば速度の方が速いために、P12 位置の破砕剤に比較し、P11 位置の破砕剤の膨張反応としては、十分に行なわれていない原因により P12 位置の膨張圧力より高くならないと推定される。

一方、P12 に比較し、発熱剤から離れる位置の P13 (発熱剤より 300mm) になると、破砕剤の反応促進がさほど急激でなくバランスよく行なわれることにより、破砕剤固有の膨張圧力、約 400kgf/cm² になるものと考えられる。

3. 破砕剤反応促進領域 (最適加熱時期の選定)

Fig. 7 に示すように内面にセメントモルタル層を設けた鉄管に発熱剤、破砕剤を装填し破砕剤中に 100mm 間隔で熱電対を埋設し、発熱剤点火後の破砕剤の温度変化を測定した。その結果から破砕剤の反応促進が

P11~P13 : strain gauge
P11~P13 : temperature calibration gauge

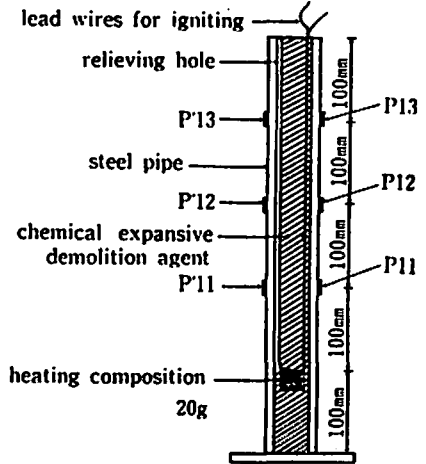


Fig. 5 The method of measuring the expansive pressure

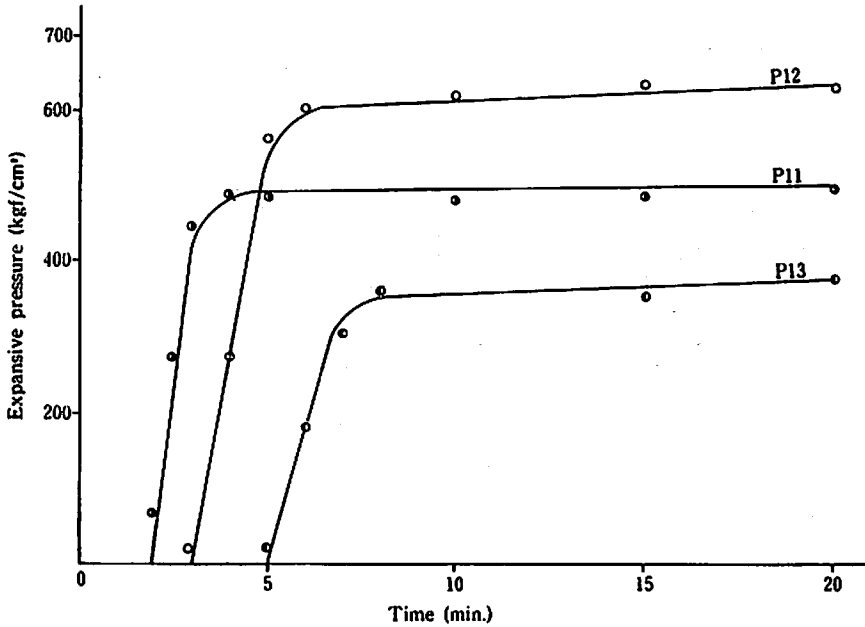


Fig. 6 Expansive pressure at each point (P11~P13)

可能な発熱剤の点火時期について確認した。

その結果を Fig. 8 に示すが、Fig. 8 は、横軸に破砕剤を反応させる時の雰囲気温度を、縦軸に破砕剤を含水させた後、破砕剤全体が初期の水和反応を完了するまで、発熱剤の点火を待たなければならないが、この待ち時間を示すものである。

なお、横軸には、各温度に最もよく対応する破砕剤のタイプを併記した。

当実験結果では、 -5°C から 5°C 間隔で $+40^{\circ}\text{C}$ まで、発熱剤により破砕剤を反応促進できる領域と、反応促進が、前者より顕著に衰われ、実用上用いても問題のない領域を求めた。

これによれば、破砕剤含水後、約 0.2~0.5 時間(約 10~30 分)が発熱剤点火の最も適切な時期であるとの結果となった。

4. 破砕実験例

4.1 コンクリート供試体での破砕実験

一軸圧縮強度 350kgf/cm^2 のコンクリート供試体を用い、Fig. 9 に示す破砕パターンで実験を行なった。

発熱剤カートリッジは、発熱剤 20g を封入した容器と、 0.5mm ϕ の平行ビニール被覆導線と抵抗発熱体よりなる点火具を装着したもので、形状は $30\text{mm}\phi \times 35\text{mm}l$ カートリッジ側面には装填後、リリース孔を設けるため $2\text{mm}\phi$ のコードを取り付けたものである。

破砕剤は特殊紙筒入りの $30\text{mm}\phi \times 250\text{mm}l$ (300g) のものを含水させ、含水比 26% とした。破砕剤充

填量は 1 孔当り 1200g とした。

発熱剤、破砕剤装填後、コードを引き抜いてリリース孔を設け、発熱剤に点火した。なお点火時期は破砕剤含水後 10 分とした。発熱剤点火 4 分後に亀裂が生じ、その後 5 分間で亀裂幅を増加しつつ破砕が進行した。この時の破砕状況を Fig. 10 に示す。

4.2 転石での破砕試験

一軸圧縮強度 1100kgf/cm^2 の流紋岩の転石を用い、

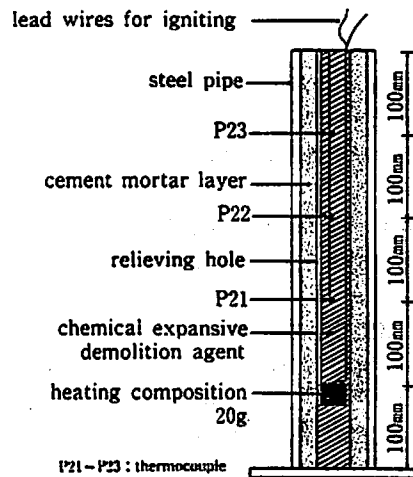


Fig. 7 The method of determination for ignition time to start acceleration of the demolition agent reaction

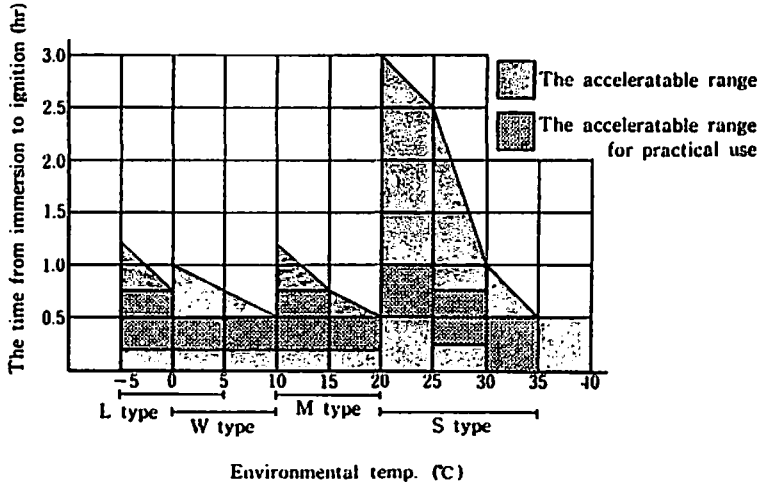


Fig. 8 The acceleratable range of the reaction of various kinds of demolition agents

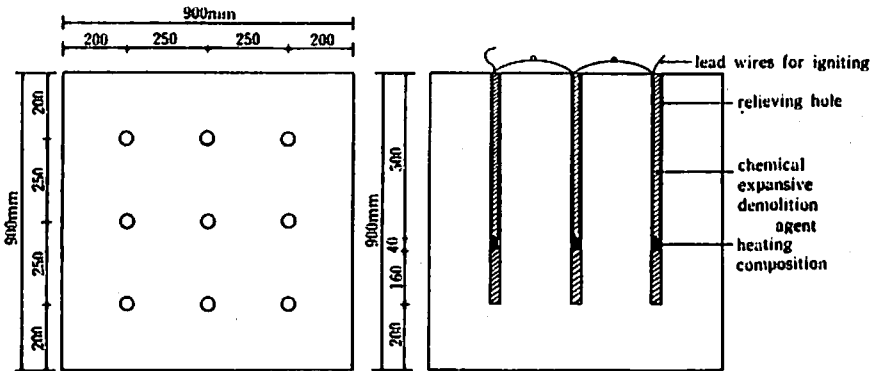


Fig. 9 Fracturing pattern (plain concrete)

Fig. 11 に示す破砕パターンで破砕試験を行なった。試験に用いた発熱剤、破砕剤は 4.1 と同様であり、1 孔当りの破砕剤充填量は平均 1000g/孔とした。

発熱剤点火までの時間は破砕剤含水後 10 分とし、加熱した結果、点火 6 分後に亀裂を生じ、その後 5 分間で亀裂幅を増加しつつ破砕が進行した。Fig. 12 にその結果を示す。

4.3 岩盤での破砕試験

一軸圧縮強度 700 kgf/cm^2 の凝灰岩、岩盤にせん孔径 38 mm ϕ 、せん孔長 (平均) 1.0 m で、せん孔間隔 0.4 m 、最小抵抗線長 0.4 m 、のパターンとし、4.1, 4.2 と同様の発熱剤、破砕剤を用い、破砕剤含水後発熱剤点火までの時間を 15 分とし、破砕剤を加熱した結果、点火 5 分後に亀裂を生じその後破砕が進行した。(Fig 13) 30 分後にはバックフォreshョベルによる二次処理

が可能な状態となった。

5. 考察および結論



Fig. 10 Fracturing of concrete

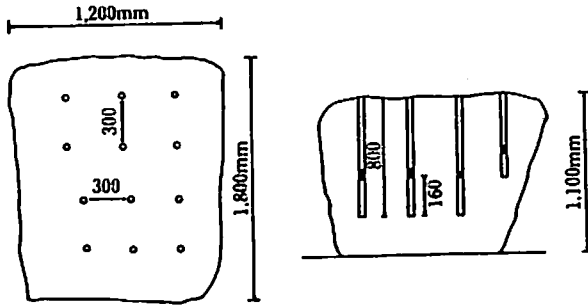


Fig. 11 Fracturing pattern (boulder)

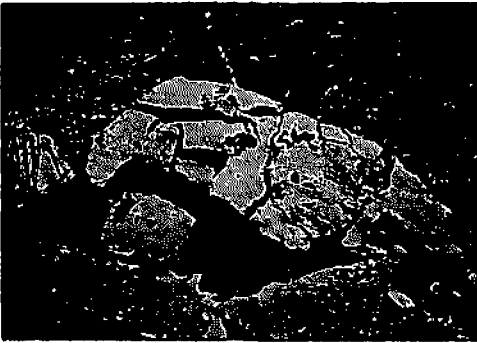


Fig. 12 Fracturing of boulder

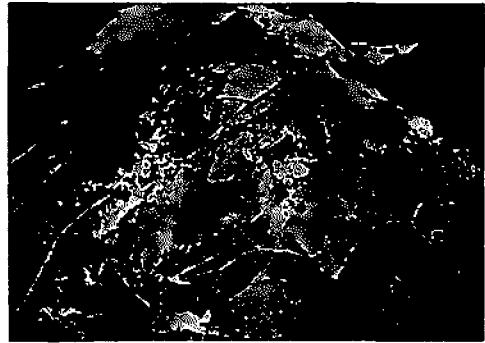


Fig. 13 Fracturing of rock

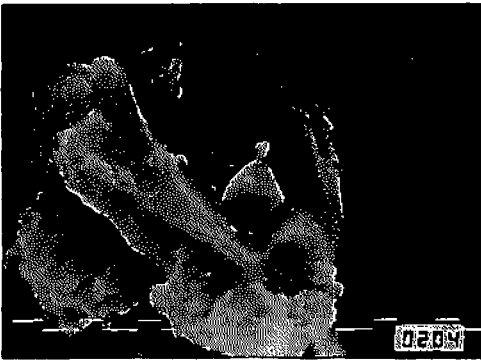


Fig. 14 Microphotograph of chemical expansive demolition agent (after hydration)

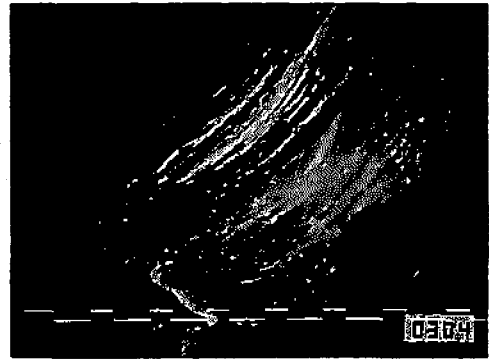


Fig. 15 Microphotograph of chemical expansive demolition agent (after heating)

破砕剤含水後、10～30分という弱熱下の破砕剤を装填孔と破砕剤との付着力が期待できない状態で強制加熱し、破砕剤の反応を促進するための加熱方式について研究した。

この方式は発熱剤より生ずる発熱剤周囲の空気の熱膨張、熔融金属の蒸気化による圧力30～35 kgf/cm²を大気中に解放し、発熱剤の熱量のみを有効に破砕剤に伝えるために、発熱剤と破砕剤装填後、破砕剤中に小

口径のリリース孔を設け加熱する方式である。

なおこの加熱方式は、第1報で述べた破砕剤の状態より含水比の高い条件下での破砕剤加熱であることから、熱伝ば効率が高くなり、破砕剤の圧力立上りが速く、加熱効率が高いことが確認できた。

一方、破砕剤の含水後の状態、発熱剤で加熱後の破砕剤の状態を Fig. 14, 15 に示すが、加熱後の破砕剤はカードボード (Card Board) 状の結晶への結晶変化

が見られ、このことが破砕剤の早期膨張圧発現に影響しているものと考えられる。

以上のことから、当研究において発熱剤により、これに接する部分の破砕剤を 140°C 以上の高熱帯 (Hot

Zone)にし、その部分から破砕剤全体に順次急速に破砕剤の凝固、膨張反応を伝ばさせ、装填孔に充填された破砕剤全体の反応を完結できることが確認できた。

On the Fracturing Effect of Chemical Expansive Demolition Agent with Application of Special Heating Composition (II)

Method of Heating and Effect to Accelerate Hydration Reaction

by Ryoichi BANNO*, Yasuo ISHII*, Takao SAITO**, Shinzo TSUJI**

It was reported by the preceding paper that the forced heating by Special Heating Composition accelerates the effect of hydration reaction of Chemical Expansive Demolition Agent, when the Composition was initiated after two to four hours after immersing of the Agent, that is just after time when the Agent has been hydrated to reach the initial expansive pressure.

In this paper, in order to get the initial expansive pressure of the Agent in a short time, sooner than the preceding paper, it has been confirmed that the aimed expansive pressure became possible to reach faster by means of the Composition to heat forcedly the Agent at the time of its very slightly reaction, such as ten to thirty minutes after hydration reaction is starting.

And in this test, loading method for the Composition and the Agent were considered, and it was also confirmed to improve practical use of the Agent.

(*Civil Engineering Dept. of Taisei Corp. 1-25-1

Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo.

**Technical Dept. of Nichiyu Giken Kogyo Co., Ltd. 1995-4

Kujirai, Kawagoe-city, Saitama)