

Fig. 2 Expansive pressure-developed by heating in water bath after conditioning at 15°C for 240 min

本実験では、Fig. 1に示すような鉄管および水槽を利用した測定法により、破砕剤水和開始240分後に5種類の温水、40°C、50°C、60°C、70°C、80°Cで加熱し、その後の水温別膨張圧力を測定した。

その結果、Fig. 2に示すように加熱温度70°C以上で破砕剤の膨張圧促進に効果のあることが認められ、破砕に必要な膨張圧350~400kgf/cm²に到達するのに4~6分間程度ですむことが確認された。

1. 2 加熱による破砕剤の温度上昇

破砕剤の膨張圧発現速度の測定と同時に破砕剤自体の温度変化を測定した。

この結果はFig. 3に示す結果となった。

これによれば、1.1の膨張圧の変化と相関があり、やはり加熱温度70°C以上で、破砕剤温度の上昇に変化がみられた。

Fig. 3の破砕剤の温度上昇のピーク付近で1.1の膨張圧が急激に上昇していることがわかった。

したがって、破砕剤の温度を70°C以上の雰囲気下におくことで、破砕剤の水和反応を促進し、破砕剤温度を140°C以上に上昇させ、それに伴ない膨張圧を350~400kgf/cm²程度まで4~6分間で上げ得ることが

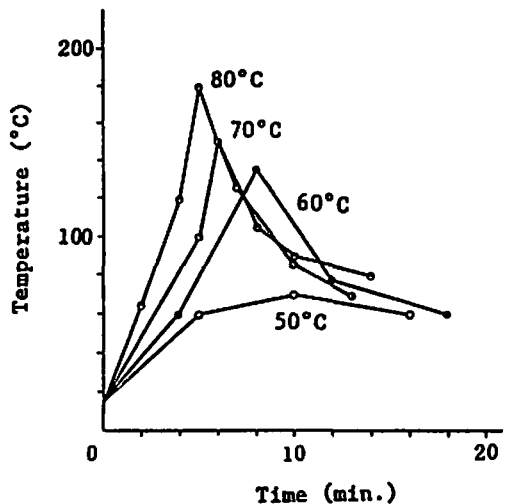


Fig. 3 Temperature of chemical demolition agent

確認できた。このことから一定条件下では破砕剤自体の発熱温度を測定することで、発生している膨張圧を推定できることになる。

2. 発熱剤の選定に関する検討

Table 1 Properties of heating composition

Composition	Equivalent ratio (wt %)	Heating value (cal/g)	Burning rate
Fe ₂ O ₃ /Al	74.8/25.2	954	fast
Fe ₂ O ₃ /Si	79.1/20.9	991	slow
Cu-O/Al	85.6/14.4	750	fast
Cu-O/Mg	81.8/18.2	793	slow
Cu-O/Si	88.5/11.5	543	very slow
NiO/Al	80.6/19.4	813	slow
NiO/Mg	75.4/24.6	867	slow
NiO/Si	84.2/15.8	532	very slow

1. の実験から加熱により相当短時間で、破碎剤自体の水和反応を促進し、所定膨張圧を得られることが確認できた。

このことから加熱方法として水和途中の破碎剤を効果的に加熱する必要性から、単位重量あたりの発熱量が高いテルミット剤に着目し、各組成状態でのテルミット剤の比較検討を行なった。

Table 1は、検討した各種テルミット剤を示すものである。

これらの中から今回は、単位重量当りの発熱量が、954cal/gと高いFe₂O₃/Alの組成をもつ鉄テルミット剤を選定した。

しかしながらこのテルミット剤は、反応速度が開放状態で1.5cm/sと速いため、加熱には幾分不相当であることから、反応抑制剤を加え、反応速度を0.5cm/s程度に低減させ用いることとした。

3. 加熱最適時期に関する実験

3.1 発熱剤の燃焼圧力の測定

水和途中の破碎剤を効果的に加熱するために加熱最適時期、発熱剤の装薬位置について検討した。

基本的に、発熱剤は、テルミット反応であることから、ガス生成によるガス圧の発生はないが、テルミット剤の高温反応に伴う空気の熱膨張、溶融金属の蒸気化による圧力の発生が考えられる。一方加熱の有効性から装薬孔の孔底部に発熱剤であるテルミット剤を

装薬して良好な結果が得られていることより、発熱剤は孔底部に装薬することになる。このことからテルミット剤の点火時期によっては、テルミット剤の上部に装填される破碎剤が噴出することも考えられる。

したがって、使用上の安全性を確認するためにテルミット剤反応時の圧力測定をFig. 4に示す方法で行った。

その結果は、Table 2に示すごとく、実用的に用いる発熱剤の量30g、50g、75gで、発生圧力がほぼ30~35kgf/cm²になった。

3.2 破碎剤付着力と発熱剤による発生圧力の関係

発熱剤の反応燃焼圧が、破碎剤の付着力をこえない状態で、燃焼加熱するために、破碎剤を含水させ、水和反応開始後の時間経過と付着力上昇との関係を測定した。これは、発熱剤を装填孔孔底部に装薬し、その上部に破碎剤を充填した後、発熱剤に点火し、加熱するわけであるが、破碎剤が一定の付着力を発現しない状態で発熱剤を反応させると燃焼時の圧力により、破碎

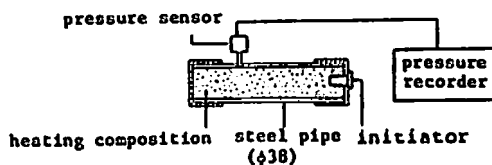


Fig. 4 The method of measuring the pressure of the heating composition

Table 2 Burning pressure of the heating composition

Heating composition (g)	Volume of steel pipe (cc)	Pressure (kgf/cm ²)
30	25	30
50	40	32
75	60	35

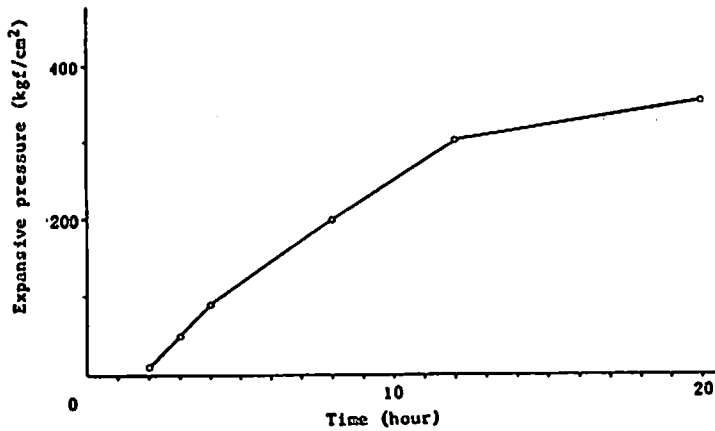


Fig. 5 Expansive pressure at the lowest application temperature

Table 3 Adhesive strength (F) and developed friction resistance (k)

elapsed time (hrs)	F (kgf)	k (kgf/cm ²)	$F = k \cdot \pi D l$ $D = \phi 38\text{mm}$ $l = 15\text{cm}$
2	250	1.4	
3	1650	9.2	
4	3400	19.0	

剤を噴出させてしまうことになるからである。

Fig. 5は、今回の実験で用いた破砕剤の適用温度範囲下限での経過時間と発生膨張圧の関係を示すものである。

Table 3は、破砕剤水和開始後の破砕剤の付着力を測定した結果であり、k値は、単位当りの付着力を示すものである。

測定法としては、φ38mmの鉄管に一定の水比で含水した破砕剤を充填し、水和反応開始後2, 3, 4時間経過後、圧縮試験機により、押し抜き測定した。

一方、3.1の発熱剤燃焼圧力の測定結果から、使用する発熱剤の上限値75gの場合で、単位当りの燃焼圧力が35kgf/cm²となることから、今回の検討で用いているせん孔径φ38mmの場合、下方よりの面圧として、

Table 4 Filling length (l) and required friction resistance (k)

l (cm)	k (kgf/cm ²)
20	1.7
30	1.2
40	0.9
50	0.7

燃焼圧力が、破砕剤に加わるとすると、その力は、F=400kgfとなる。破砕剤にこの力以上の付着力があれば、破砕剤の噴出はないことになる。

Table 4は、F=400kgfとなる破砕剤付着長つまり、充填長別の必要単位当り付着力(k)を示すものである。したがって破砕剤がTable 4に示される単位当り付着力以上になった状態で、発熱剤に点火すれば、噴出現象にはならないことになる。

例えば、破砕剤水和開始後2時間では、破砕剤の単位当り付着力(噴出に対する抵抗値)が1.4kgf/cm²であるので、最小限の加熱剤から上部の充填長は、30

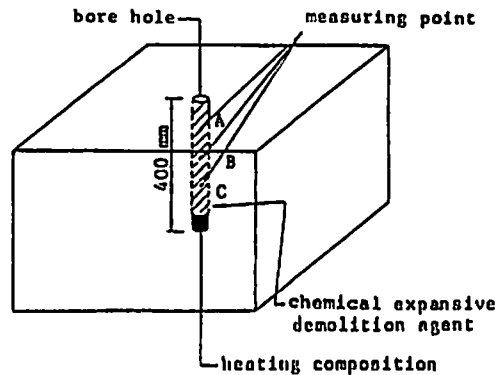


Fig. 6 Concrete test piece

Table 5 Conditions of the test

Concrete	Non-reinforcement
Structure	60×60×60cm
Compression strength	250kgf/cm ²
Hole diameter	φ 38mm
Hole length	40cm
Heating composition	50g 75g
Chemical expansive demolition agent	700g

cm以上必要となることになる。

4. 供試体での試験

Fig. 6, Table 5, に示すコンクリート製の供試体を用い破碎試験を行なった。

せん孔径は、φ38mmで、せん孔長は400mmとした。

Fe₂O₃/Alに反応抑制剤を加えた発熱剤を孔底にそれぞれ、0.5mmφの平行ビニール被覆導線と抵抗発熱体（電橋線）からなる発熱剤点火具を装着した32mmφ×55mm^lで50g、32mmφ×80mm^lで75gのカートリッジ状態で装薬し、30mmφ×250mm^lで1本300gの特殊紙筒入りの破碎剤を、それぞれ浸水させ、

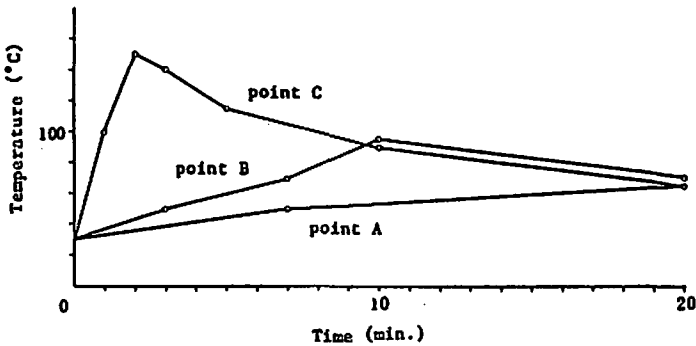


Fig. 7 Temperature—time curves (heating composition 50g)

水、破碎剤比26%の含水状態にして、各孔700gづつ、つき固め充填した。その後、破碎剤の初期膨張を持って後、発熱剤カートリッジに装着されている抵抗発熱体に電流を2Aで数秒間通電し、発熱剤に点火した。その後の破碎剤自体の温度をA（発熱剤より210mm）、B（発熱剤より140mm）、C（発熱剤より70mm）点で測定した。その結果をFig. 7, Fig. 8に示す。

供試体の破碎状況は発熱剤に点火2分程度（破碎剤温度140℃）で、ヘアクラックが生じ、その後約10分

間で、亀裂幅を増加しつつ破碎が進行した。

供試体での破碎試験では、発熱剤近傍70mmでの破碎剤温度が140℃付近になった時点より、徐々に破碎が進行する結果を得た。

なお測点B, Aでは、最高破碎剤温度が、C点より上昇しないのは、破碎剤伝熱効果および亀裂発生により破碎剤が直接外気とふれ、破碎剤温度が大気中に拡散されたものと考えられる。

5. 考察および結論

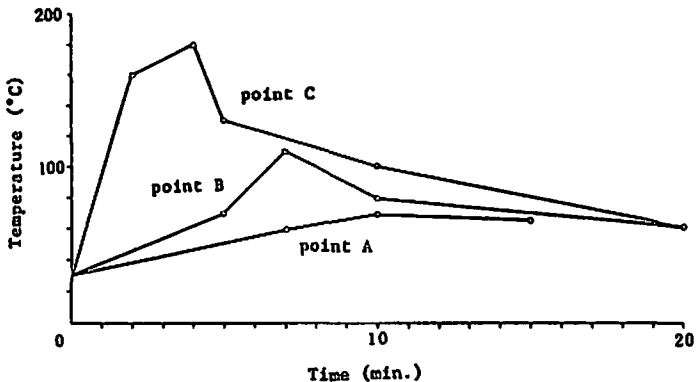


Fig. 8 Temperature—time curves (heating composition 75g)

破砕剤の水和反応は、外部より加熱することで促進することが可能である。

この場合、短時間で破砕に必要な $350\sim 400\text{kg/cm}^2$ の破砕剤の膨張圧を得るためには、破砕剤自体の温度を 140°C 以上にあげる必要があり、外部よりの加熱剤としては、単位当り発熱量の高い $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}$ の鉄テルミット剤の使用が有効である。

一方、発熱剤の点火時期は、発熱剤の燃焼圧力より破砕剤の膨張圧による装填孔壁との付着力の方が高く

なった時点が最適であり、今回の実験結果からは、破砕剤含水後 $2\sim 4$ 時間が最適時期となる。

さらに破砕剤の充填長は、せん孔径 $\phi 38\text{mm}$ では、 30cm 以上必要となる。

基礎的な実験および供試体での試験結果から、含水状態にある破砕剤を強制加熱することで、破砕剤の水和反応に影響をおよぼし、膨張促進効果に良好であり破砕時間短縮化に効果のあることが確認された。

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

Effect of Heating

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

No experimental data have been published about the effect of heating on wetted chemical expansive demolition agent to accelerate its hydration reaction and consequential expansion process. To study the effect of heat, various pyrotechnic compositions were tested for compatibility with the chemical demolition agent, optimum time for application ensuring operational safety, and for experimental effects on test pieces. Through the test, a thermit composition was found to be the most suitable heating materials to shorten the breaking time at sites.

The optimum effect of the forced heating is obtained when the pyrotechnic composition is initiated just after the time when the wetted chemical demolition agent has been hydrated to reach the initial expansive pressure.

As a result of our studies, the accelerating effect of the forced heating with thermit on the hydration of chemical demolition agent has been demonstrated.

(*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)