

ウォータージェット工法による切断技術の開発（その2） 基礎実験および鉄筋コンクリート構造物の切断工法の開発

The Development of Water-Jet Cutting System(Part2)
A Fundamental Study and a Development of Cutting System on Reinforced
Concrete Structures

武内 義夫*
Yoshio Takeuchi

宮下 剛士**
Takeshi Miyashita

大原 直***
Tadashi Ohara

片野 彦一****
Hikoichi Katano

牧野 清*****
Kiyoshi Makino

神谷 宏*****
Hiroshi Kamiya

要 約

構造物を切断・解体する技術は年々進歩を遂げ、その手法もいろいろ開発されてきている。そこで前報（その1, 1989 VOL.12）に引き続き、ウォータージェットを用いた切断技術の開発を行った。本報では、ジェットポンプでつくられたウォータージェットに研磨材を混入し、切断能力を飛躍的に高めたアブレンシブジェット工法に関して、研磨材の種類の違いによる切断能力の比較を無筋コンクリートおよび鋼板を対象に実験を行った。この結果、ガーネット#36が切断能力に優れ、品質も安定していることがわかった。また、要素実験においては、鋼板厚さ12cmの切断が可能であることが確認された。リフォーム工事への応用実験においては、壁等のコンクリート内に埋設された鉄筋を切断する際、効率よく切断が行われるように、集中的なジェッティングや繰り返し切断を行うケースがあった。このため切断過程において埋設鉄筋を検知する方法の開発が必要になったが今回、切断時の振動加速度レベルの変動値を計測することにより、検知の可能性が得られた。さらに、研磨材を使用せず、ウォータージェットのみ用いて、はつり・剝離、切削・削孔等を行うランス工法についても引き続き実験を行った。

実験より得られた、広範囲な用途に適用可能な西松式ウォータージェット工法（以下、ARA-JIN 工法と称す）の開発経過を報告する。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 実験装置
- §3. 基礎実験
- §4. 実用化への応用実験
- §5. おわりに

§1. はじめに

近年、建築および土木分野において、構造物の切断・解体にウォータージェット（以下 WJ と称す）を用いる例が多くなってきている。また将来予想される原子力発電所の原子炉建屋解体に WJ の利用も検討されている。

WJ の利用には、ジェットポンプで発生させた WJ に研磨材を混入し、飛躍的に切断能力を高めたアブレンシブジェット工法と、WJ のみ使用し、コンクリート表面のはつり、建物外装の剝離、RCD ダムのグリーンカット、トンネル切羽の切削・削孔等に用いるランス工法などがあ

*技術研究所先端技術研究課係長
**技術研究所原子力課
***技術研究所土木技術課係長
****技術研究所機電課長
*****技術研究所環境研究課係長
*****技術研究所環境研究課長

る。

本報（その2）では、前報（その1）に引き続き、アブレシブジェット工法の基本的切断能力を把握するため、無筋コンクリート・鉄筋コンクリート・鋼板を対象にした基礎実験と、リフォーム工事などの施工法を進展させるための応用実験を、さらに周辺機器の開発についても実験を行った。

基礎実験では、研磨材としてガーネット#36(米国産)、スチールグリット S-G70、けい砂4号(岐阜産)の3種類を用い、種類の違いによる切断能力の比較を無筋コンクリートおよび鋼板を対象に行った。また無筋コンクリートを対象にノズル角度をパラメータとした実験、鉄筋コンクリートを対象に鉄筋の被りをパラメータとした実験、鋼板を対象にオリフィス径をパラメータとした実験を行った。

応用実験では壁等の切断をする際、コンクリート内に埋設された鉄筋が効率よく切断されるように、集中的なジェッティングや繰り返し切断を行わねばならないケースがあった。このため切断過程で埋設鉄筋を検知する方法の開発を行う必要が生じた。今回は、切断時の振動加速度レベルの変動値を計測することにより、検知が可能であることが確かめられた。

周辺機器の開発では、切断後の WJ を受け止めるためキャッチャー内に取り付けるセラミックス板の生成成分の違い（炭化珪素系、窒化珪素系、ジルコニア系）による耐摩耗性の比較実験を行った。

壁を切断する場合、ノズル移動装置および防音カバー・キャッチャーの構造上、床面からわずかに壁が切れ残る問題があった。そこでこの切れ残り部分およびアブレシブジェット工法で切断したコンクリートブロックの小割りに無振動・無騒音施工が可能である油圧式のベビークラッシャーを用いることにした。

なお基礎実験では、アブレシブジェット工法のみならず、WJのみ使用するランス工法でも実験を行い、ARA-JIN 工法の開発を行った。

§ 2. 実験装置

2-1 装置の概要

基礎実験および実用化への応用実験で共通に使用する実験装置には、WJ を発生させるジェットポンプ、WJ をノズルまで導く高圧ホース、WJ を噴射するノズル、切断対象物に対し自由自在にノズルを動かすノズル移動装置、アブレシブジェット工法で用いる研磨材供給装置などがある。

ジェットポンプは、フローインターナショナル社製の 40DQ 型を使用した。このジェットポンプは増圧器を4本内蔵しており、油圧をコントロールすることにより、任意の吐出圧力が設定できる。またノズルのオリフィス径を変化させることにより、任意の吐出水量を設定することができる。最高吐出圧力は $2,800\text{ kg f/cm}^2$ 、最大吐出水量は 21.2 l/min で動力はディーゼルエンジンを使用している。

リフォーム工事を対象とした実用化への応用実験では上記以外に、切断部に設置する防音カバー、構造物切断後に WJ および練り粉（切削くず、研磨材）を受け止めるキャッチャー、WJ および練り粉を吸引し回収・廃棄する真空装置および沈殿槽、低騒音化を図るための防音ボックスなどがある。今回は、キャッチャー内に取り付けるセラミックス板の生成成分の違いによる耐摩耗性を調べるため、炭化珪素系 (SiC)、窒化珪素系 (Si₃N₄)、ジルコニア系 (ZrO₂) の3種類の板を用いた。

§ 3. 基礎実験

3-1 切断・切削要素

アブレシブジェット工法およびランス工法の切断・切削能力を把握するため、(その1)に引き続き要素別に切断および切削実験を行った。

実験はアブレシブジェット工法を主にを行い、試験体は無筋コンクリート、鉄筋コンクリート、鋼板の3種類とした。ランス工法は無筋コンクリートのみとした。

切断深さの測定は、無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリートに関しては、試験体両端部の20mmずつを除いた残りの部分を20mm間隔で測定し、その平均値を求めた。鋼板は、同様に両端部の10mmずつを除いた残りの部分を10mm間隔で測定し、その平均値を求めた。

アブレシブジェット工法で考慮した切断要素は、以下の通りである。

- ① 研磨材種類：ガーネット#36(米国産)、スチールグリット S-G70、けい砂4号(岐阜産)
- ② オリフィス径：0.625, 1.0 (mm)
[25/1,000, 40/1,000 (inch)]
- ③ 吐出圧力：1,000～2,370 (kg f/cm²)
- ④ ノズル移動速度：3～15 (cm/min)
- ⑤ スタンドオフ：1.0 (cm)
- ⑥ 研磨材供給量：1～3 (kg/min)
- ⑦ トラバース回数：1 (回)
- ⑧ ノズル角度：90°, 75°
- ⑨ コンクリート強度： $F_c=300$ (kg f/cm²)

- ⑩ 鉄筋：D13, 16, 22
- ⑪ 鉄筋の被り（コンクリート表面より鉄筋芯までの距離）：50～300 (mm)

ランス工法で考慮した切削要素は以下の通りである。

- ① オリフィス径：0.625 (mm)
[25/1,000 (inch)]
- ② ノズル孔数：2 (孔)
- ③ ノズル孔角度：30°, 45°
- ④ 吐出圧力：1,000～2,370 (kg f/cm²)
- ⑤ ノズル移動速度：5 (cm/min)
- ⑥ スタンドオフ：1.0～2.0 (cm)
- ⑦ トラバース回数：1～3 (回)
- ⑧ コンクリート強度： $F_c=300$ (kg f/cm²)

なおジェットポンプの吐出水量は、ポンプの性能上オリフィス径と吐出圧力より決定され、次式より求まる。

$$Q=0.7 \times 29.8 \times \sqrt{P} \times d^2 \times 3.785$$

Q ：吐出水量 (ℓ/min) P ：吐出圧力 (psi)

d ：オリフィス径 (inch)

また実験結果の吐出圧力の値は、ポンプからノズルまでの減衰を考慮し、ポンプの吐出圧力より150kg f/cm²を減じた値とした。

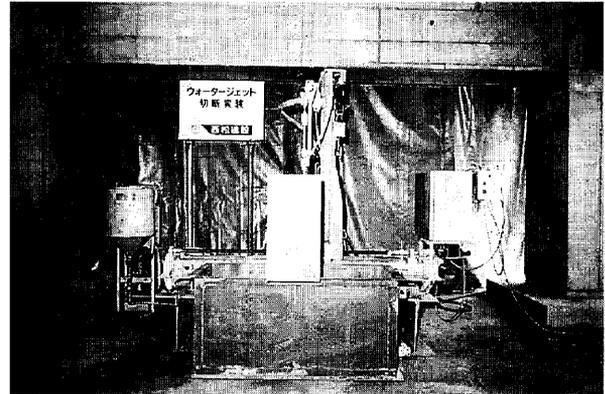


Photo 1 切断装置

実験条件			
切断方法	アプレシブジェット	ノズル移動速度	5 (cm/min)
試験体	無筋コンクリート	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	2 (kg/min)
吐出圧力	変更要素	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	変更要素	切断方向	下向き90°

実験条件			
切断方法	アプレシブジェット	ノズル移動速度	5 (cm/min)
試験体	無筋コンクリート	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	変更要素
吐出圧力	2,370 (kgf/cm ²)	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	24.0 (ℓ/min)	切断方向	下向き90°

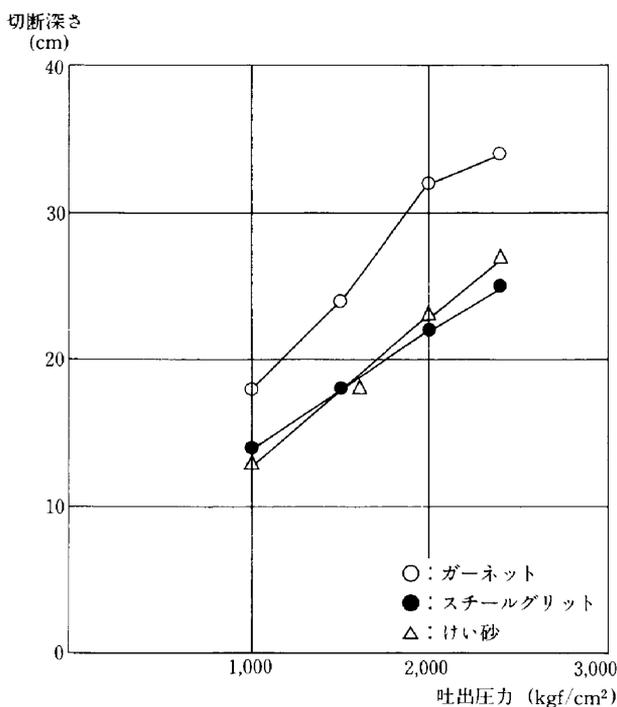
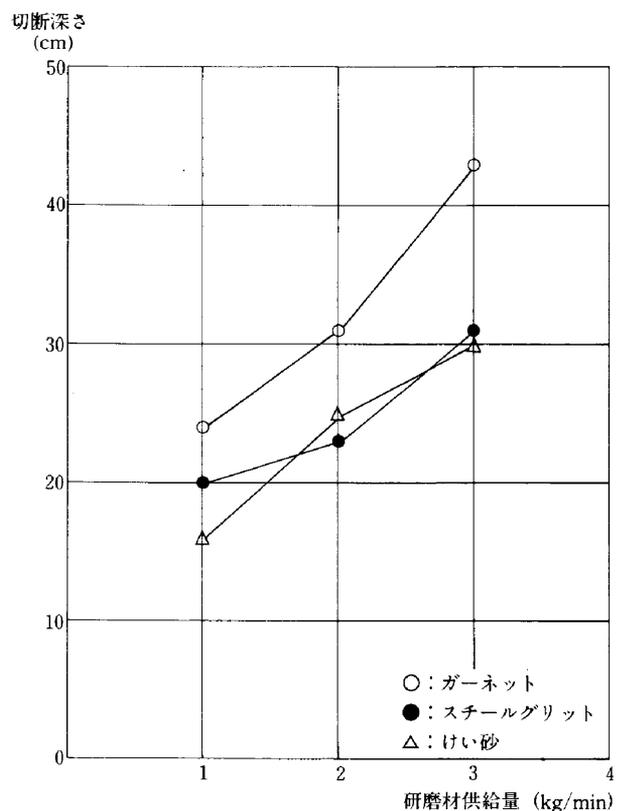


Fig.1 吐出圧力と切断深さの関係



研磨材供給量と切断深さの関係

3-2 切断装置

(その1)と同様に、ノズル移動装置を高さ調整用の架台に設置し、切断用試験体は、衝撃吸収用の水槽の上に載せた。水槽内には水を張り、WJの切断後のエネルギーを吸収するため、底には鋼板およびH鋼を並べた。

切断装置の概観をPhoto 1に示す。

3-3 アブレイブジェット工法実験結果

(1) 無筋コンクリート切断試験

コンクリート強度 $F_c=300$ (kgf/cm²) の試験体 (800×300, $h=600$) を用いて、各種要素を変化させて切断試験を行い、切断深さの測定および切断形状の観察を行った。

はじめに、研磨材の種類の違いによる切断能力の比較を行った。研磨材は、ガーネット#36 (米国产)、スチールグリット S-G70, けい砂4号 (岐阜産) の3種類とした。実験より得られた吐出圧力と切断深さの関係、研磨材供給量と切断深さの関係、ノズル移動速度と切断深さ

実験条件			
切断方法	アブレイブジェット	ノズル移動速度	変更要素
試験体	無筋コンクリート	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	2 (kg/min)
吐出圧力	2,370(kgf/cm ²)	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	24.0(l/min)	切断方向	下向き 90°

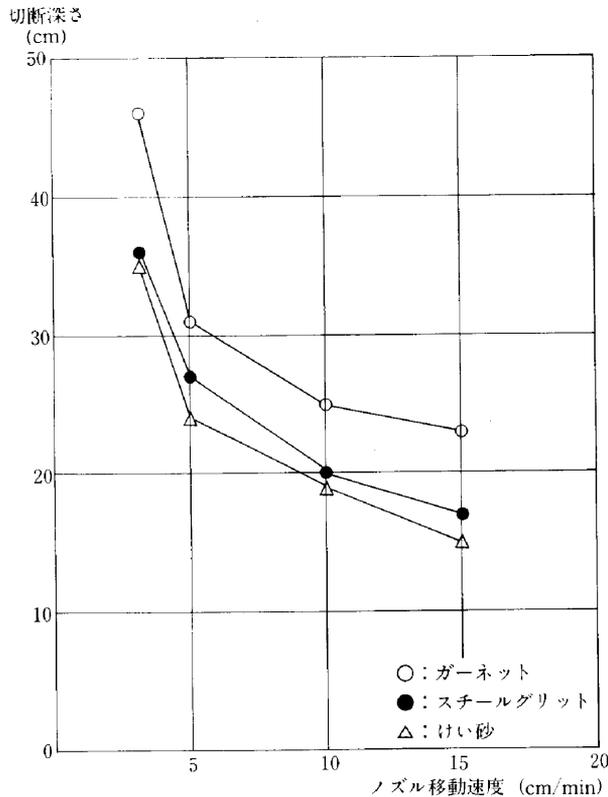


Fig.3 ノズル移動速度と切断深さの関係

の関係を Fig. 1~3 に示す。

次に、(その1)において、鉄筋コンクリートを切断対象とした場合、ノズル角度を90°より75°に傾けた方が埋設された鉄筋を効率よく切断できることが確認されたが、この有効性が、無筋コンクリートにも適用できるかの確認を、3種類の研磨材を用いて行った。実験より得られたノズル角度をパラメータとした研磨材供給量と切断深さの関係を Fig. 4 に示す。

切断試験後の試験体を Photo 2 に示す。

(2) 鉄筋コンクリート切断試験

(その1)において、梁や柱あるいはマスコンクリート内に入っている鉄筋を切断する場合、被りが大きいとコンクリート切断にエネルギーが消費され、肝心の鉄筋が切れ残るケースが確かめられた。このため被り、鉄筋径およびノズル移動速度をパラメータとした切断深さの

実験条件			
切断方法	アブレイブジェット	ノズル移動速度	5 (cm/min)
試験体	無筋コンクリート	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	変更要素
吐出圧力	2,370(kgf/cm ²)	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	24.0(l/min)	切断方向	下向き 90°, 75°

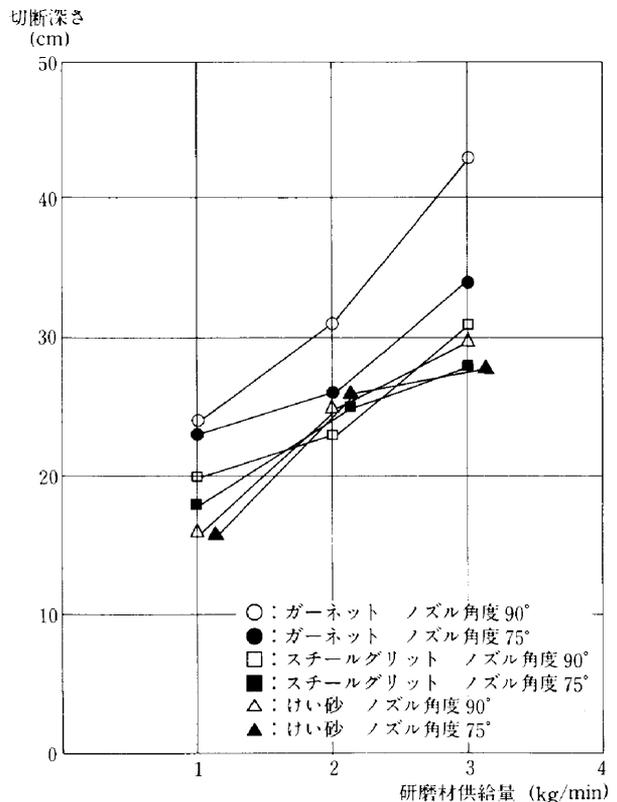


Fig.4 ノズル角度をパラメータとした研磨材供給量と切断深さの関係

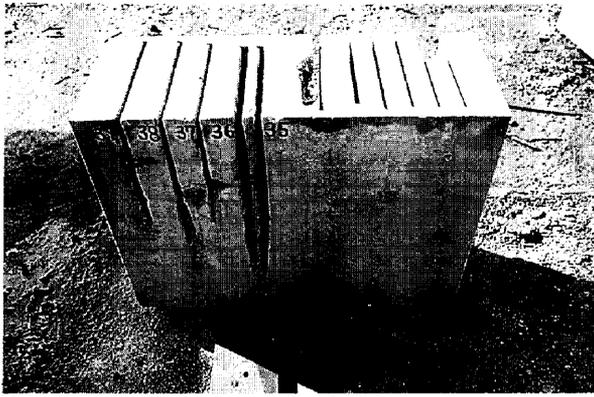


Photo 2 無筋コンクリート切断試験体

測定および切断形状の観察を行った。なおコンクリート強度 $F_c=300$ (kg f/cm²) の試験体(800×1,000, $h=500$)を用いた。

切断要素は、ノズル角度90°, オリフィス径1.0mm, 吐出圧力2,370kg f/cm², スタンドオフ1cm, 研磨材がガーネット#36, 研磨材供給量3kg/minである。

被りは、50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300mmの8種類, 鉄筋径はD13, 16, 22の3種類, ノズル移動速度は3, 5, 7.5, 10, 15, 20cm/minの6種類とした。D13を用いた試験体のノズル移動速度と切断深さの関係を Fig. 5に, D16を用いた場合を Fig. 6に, D22を用いた場合を Fig. 7に示す。

(3) 鋼板切断試験

研磨材の種類の違いによる切断能力の比較を, 無筋コンクリートに引き続き鋼板でも行った。試験体 (300×120, $h=120$) は, SS41の鋼板 ($t=17$ mm) を加工した。

研磨材は, 無筋コンクリートで用いたものと同様の3種類とした。但し切断要素のうち, ノズル移動速度については材質を考慮して3cm/minとした。

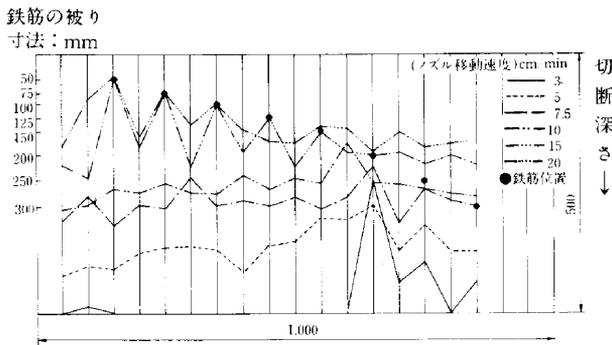


Fig.5 D13を用いたノズル移動速度と切断深さの関係

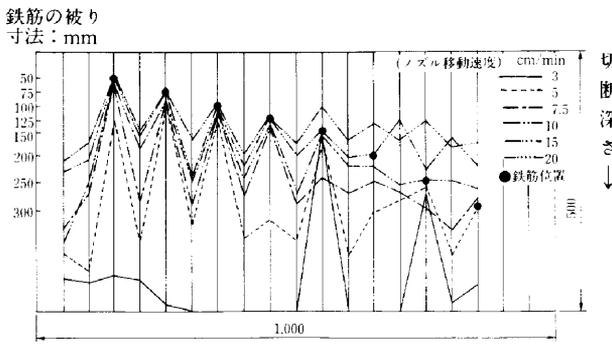


Fig.6 D16を用いたノズル移動速度と切断深さの関係

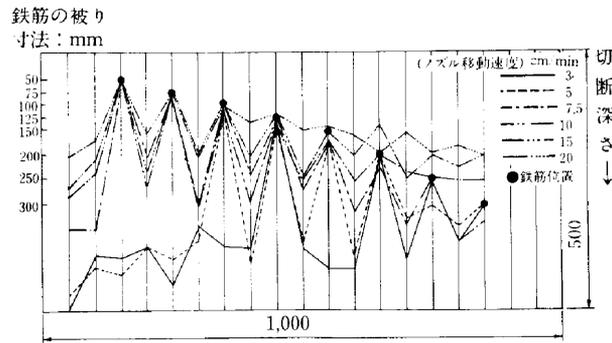


Fig.7 D22を用いたノズル移動速度と切断深さの関係

実験条件			
切断方法	アプレシブジェット	ノズル移動速度	3 (cm/min)
試験体	鋼板	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	2 (kg/min)
吐出圧力	変更要素	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	変更要素	切断方向	下向き 90°

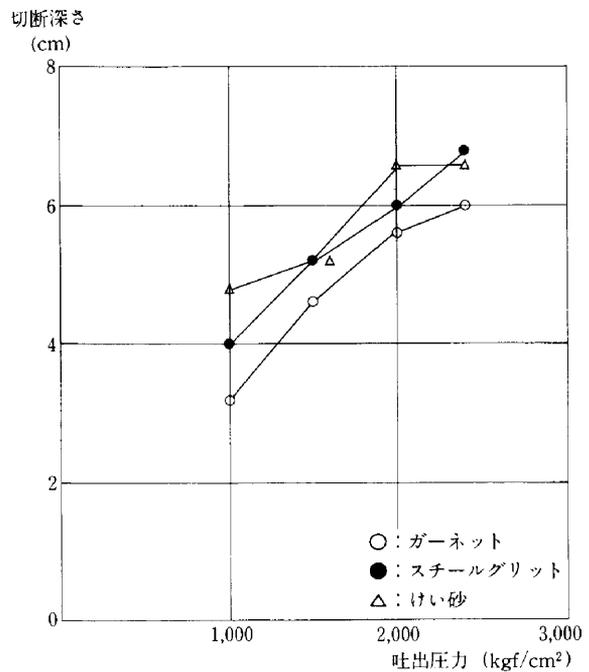


Fig.8 吐出圧力と切断深さの関係

実験より得られた吐出圧力と切断深さの関係、研磨材供給量と切断深さの関係、ノズル移動速度と切断深さの関係を Fig. 8~10 に示す。

次に、オリフィス径をパラメータとした切断能力の比較を行った。使用したオリフィス径は、1.0mmおよび0.625mmの2種類で、研磨材は(1)と同様の3種類を用いた。オリフィス径をパラメータとしたノズル移動速度と切断深さの関係を Fig. 11 に示す。

切断試験後の試験体を Photo 3 に示す。

3-4 ランス工法実験結果

(1) 無筋コンクリート切削試験

コンクリート強度 $F_c=300$ (kg f/cm²) の試験体 (800×600, $h=300$) を用いて、切削試験を行った。

ノズル孔数は2孔とし、ノズル孔角度は30°と45°の2種類のノズルを用いた。ノズル孔角度とスタンドオフをパラメータとした吐出圧力と切削深さの関係を Fig. 12

実験条件			
切断方法	アブレシブジェット	ノズル移動速度	3 (cm/min)
試験体	鋼板	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	変更要素
吐出圧力	2,370(kgf/cm ²)	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	24.0(l/min)	切断方向	下向き 90°

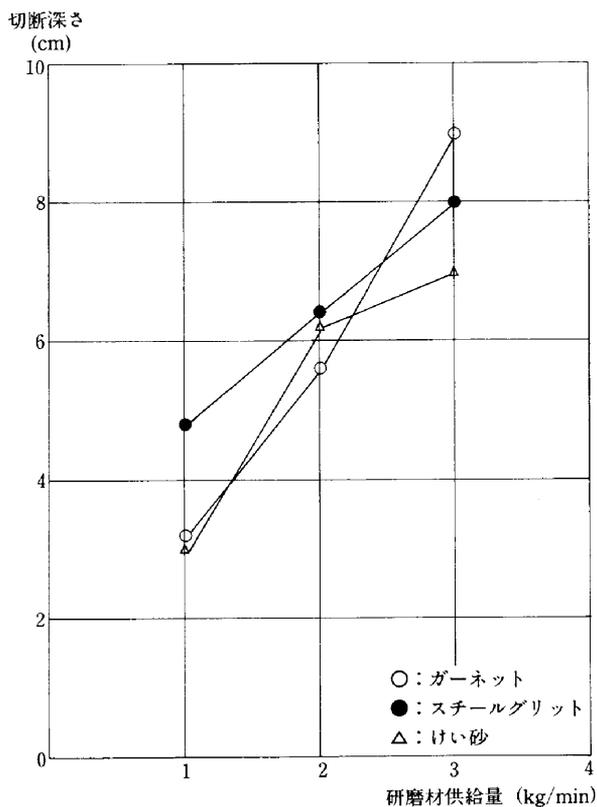


Fig.9 研磨材供給量と切断深さの関係

に示す。

同じく、ノズル孔角度30°と45°、トラバース回数3回とし、ノズル孔角度とトラバース回数をパラメータとした吐出圧力と切削深さの関係を Fig. 13 に示す。

切削試験後の試験体を Photo 4 に示す。

3-5 考察

アブレシブジェット工法およびランス工法の基礎実験より、以下の事項が明らかになった。

(1) アブレシブジェット工法

- ① 無筋コンクリートを切断対象とした研磨材の種類の違いによる切断能力の比較では、ガーネット#36が切断能力が高く、スチールグリット S-G70とけい砂4号はほぼ同等であった。
- ② (その1)において、鉄筋コンクリートを切断対象とした場合、コンクリート内の鉄筋を切断する際、ノズル角度を90°より75°に傾けた方が切断効率が高

実験条件			
切断方法	アブレシブジェット	ノズル移動速度	変更要素
試験体	鋼板	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9 (mm)	研磨材供給量	2 (kg/min)
吐出圧力	2,370(kgf/cm ²)	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	24.0(l/min)	切断方向	下向き 90°

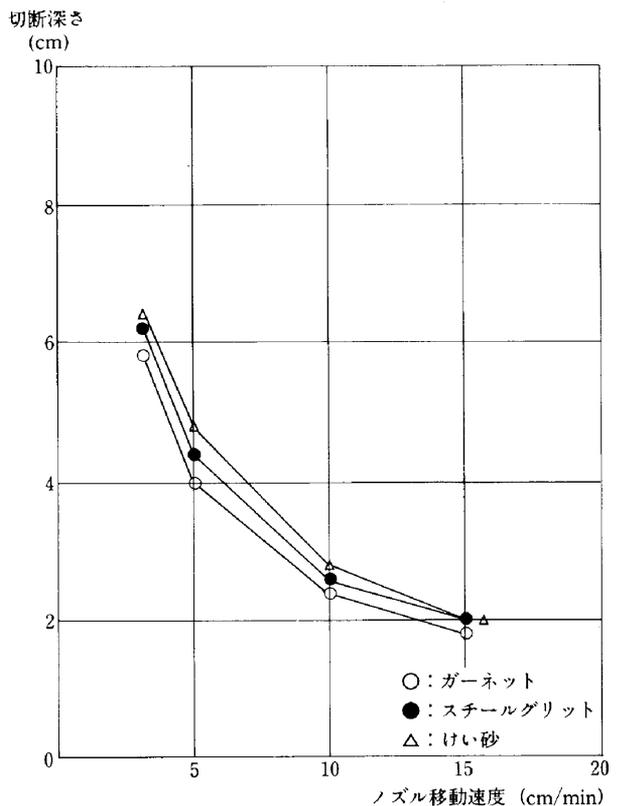


Fig.10 ノズル移動速度と切断深さの関係

いことがわかった。しかし今回の無筋コンクリートを切断対象とした実験では、90°と75°でほとんど差異が認められなかった。

実験条件			
切断方法	アプレシブジェット	ノズル移動速度	変更要素
試験体	鋼板	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	1.0, 0.625 (mm)	研磨材種類	変更要素
ノズル径	3.9, 3.1 (mm)	研磨材供給量	2 (kg/min)
吐出圧力	2,370(kgf/cm ²)	トラバース回数	1 (回)
吐出水量	24.0, 9.4(l/min)	切断方向	下向き 90°

実験条件			
切削方法	ジェットランス	ノズル移動速度	5 (cm/min)
試験体	無筋コンクリート	スタンドオフ	1, 1.5, 2(cm)
オリフィス径	0.625×2孔(mm)	トラバース回数	1 (回)
吐出圧力	変更要素	切削方向	下向き 90°
吐出水量	変更要素	ノズル孔角度	30°, 45°

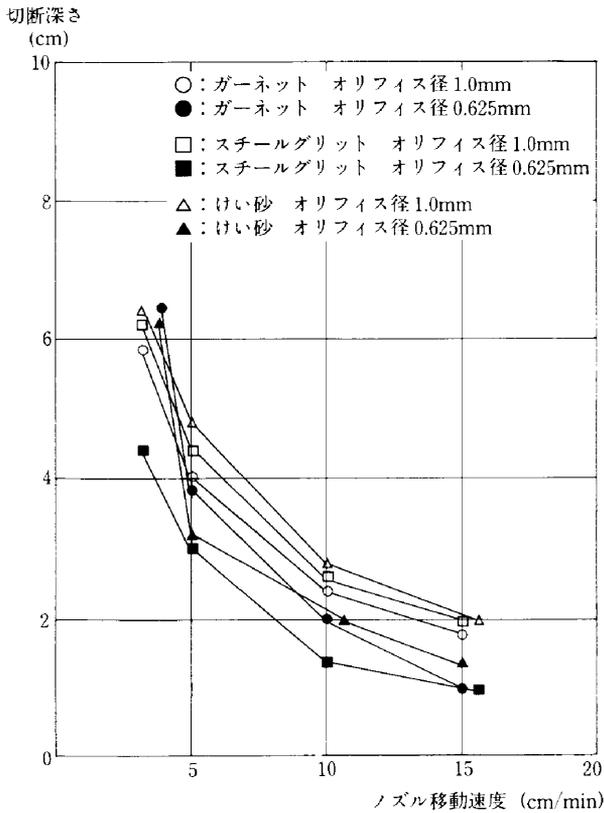


Fig.11 オリフィス径をパラメータとしたノズル移動速度と切断深さの関係

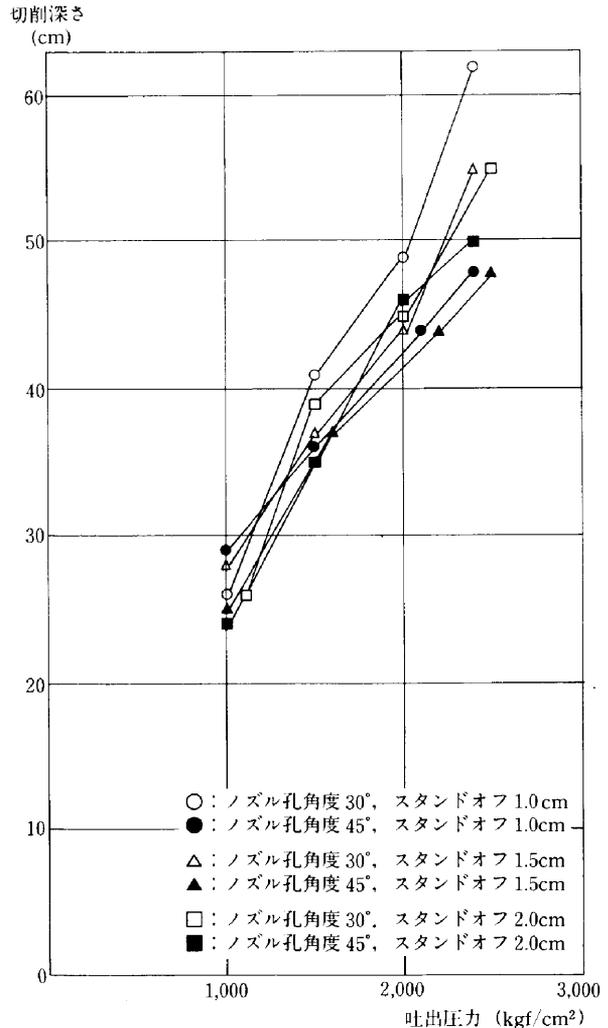


Fig.12 ノズル孔角度とスタンドオフをパラメータとした吐出圧力と切削深さの関係

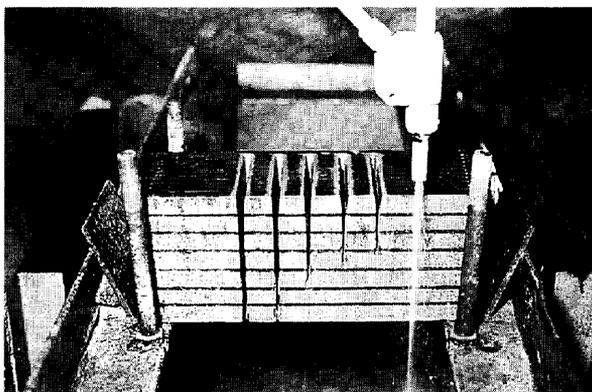


Photo 3 鋼板切断試験体

③ 鉄筋コンクリートの被りをパラメータとした切断実験では、鉄筋径・ノズル移動速度・切断深さの関係が把握できた。

前記実験条件下において、D13の場合、ノズル移動速度 5 cm/min 以下では被り 300mm, 10cm/min 以下では被り 250mm まで鉄筋の切断が可能ながわたり、15cm/min 以上では被り 50mm でも切れ残ることがわかった。

D16の場合、ノズル移動速度 3 cm/min 以下では被り 300mm, 7.5cm/min 以下では被り 250mm, 10cm/

実験条件			
切削方法	ジェットランス	ノズル移動速度	5 (cm/min)
試験体	無筋コンクリート	スタンドオフ	1 (cm)
オリフィス径	0.625×2孔(mm)	トラバース回数	変更要素
吐出圧力	変更要素	切削方向	下向き90°
吐出水量	変更要素	ノズル孔角度	30°, 45°

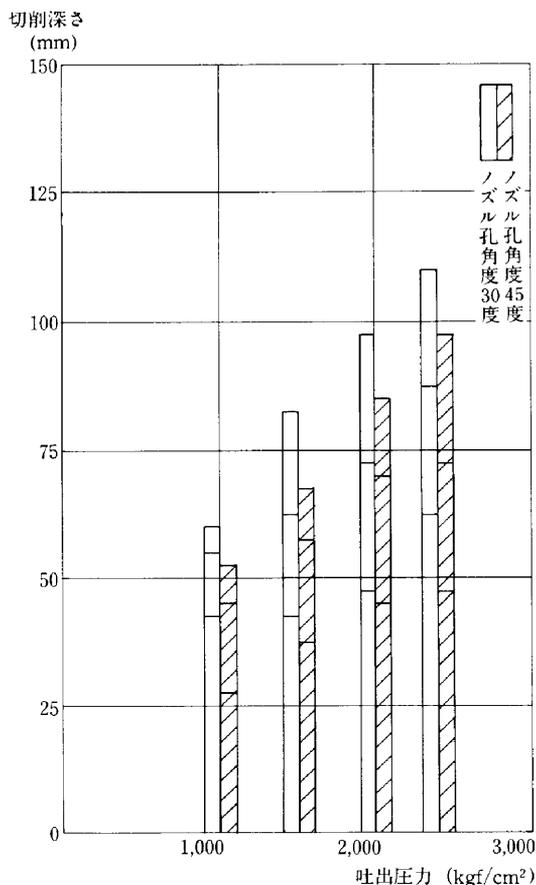


Fig.13 ノズル孔角度とトラバース回数をパラメータとした吐出圧力と切削深さの関係

min 以下では被り 200mm まで切断可能なことがわかり、15cm/min 以上では被り 50mm でも切れ残ることがわかった。

D22 の場合、被りが 200mm 以上になるとノズル移動速度が 3 ~ 7.5cm/min の範囲において、切削深さのデータに若干のバラツキが見られた。即ちノズル移動速度 5 cm/min 以下では被り 150mm まで切断可能なことがわかり、7.5cm/min 以上では被り 50mm でも切れ残ることがわかった。

今回の実験では、シングル配筋をイメージしているが、今後はダブル配筋での切断状況を把握する必要がある。

- ④ 鋼板を切断対象とした研磨材の種類の違いによる、切断能力の比較では、ガーネット #36、スチールグリット S-G70、けい砂 4 号ともほぼ同等であり、

無筋コンクリートの場合と異なる結果になった。

- ⑤ 鋼板を切断対象としたオリフィス径の違いによる切断能力の比較実験より、3種類の研磨材すべてにわたり、オリフィス径 1.0mm の方が 0.625mm よりわずかに切断能力が高いことがわかった。

(2) ランス工法

- ① スタンドオフをパラメータとした吐出圧力と切削深さの関係より、スタンドオフが 1.0 ~ 2.0cm の範囲内では、切断能力にあまり差が見られなかった。
- ② ノズル孔角度とトラバース回数をパラメータとした吐出圧力と切削深さの関係より、トラバース回数をふやしてもノズル孔角度が 30° の方が 45° に比べて切断能力の高いことがわかった。

§ 4. 実用化への応用実験

4-1 目的

WJ を用いて、鉄筋コンクリート構造物の切断・解体工法を確立するため、(その1)において基礎技術の開発を行った。その結果、建築のリフォーム工事を対象にした ARA-JIN カutting システムの一応の確立をみたが、以下に示す事項について更に検討することにした。

① 装置の検討

キャッチャー内に取り付けている、切断後の WJ や繰り粉を受け止めるセラミックス板は、生成成分の違いにより耐摩耗性が異なる。このため 3 種類のセラミックス板より最適の板を見出す。

② 切断時の施工性に関する検討

切断対象物の壁等がダブル配筋などの場合、ノズルに対して後方に位置する鉄筋が切れ残るケースがある。この解決方法としては、切断過程において鉄筋探索を行い、集中的なジェットイングや繰り返し切断を行う必要がある。それには、埋設鉄筋の位置

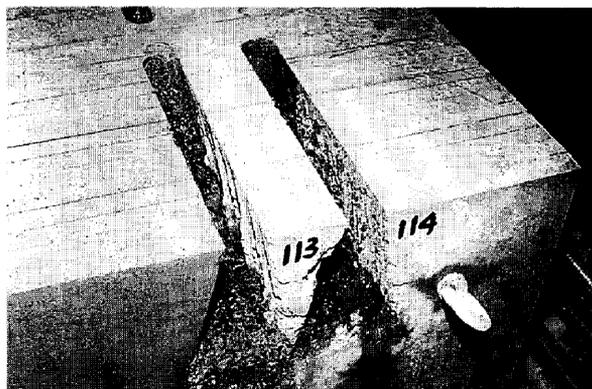


Photo 4 無筋コンクリート切削試験体

を知る必要があり、例えば切断時の振動加速度レベルの変動値から推測する方法も考えられる。

③ 切断後の切断ブロックの搬出法に関する検討

WJによって切断された壁等の切断ブロックは、小運搬できる大きさに分割・小割りされねばならない。またその施工法は、無振動・無騒音で行う必要があるため、油圧式のベビークラッシャーを用い、その作業性を確かめる。

4-2 セラミックス板の生成成分の違いによる耐摩耗性実験

(1) 実験方法

セラミックス板 (250×80, t=15) の材質は、炭化珪素系(SiC)、窒化珪素系(Si₃N₄)、ジルコニア系(ZrO₂)の3種類で、キャッチャー内に一列に各2枚ずつ、計6枚張り付けた。キャッチャー内を Photo 5 に示す。

このキャッチャーをARA-JIN カutting システムの壁のリフォーム工事に採用した。

ジェットポンプの吐出圧力を2,000kg f/cm²、研磨材供給量を2kg/min、ノズル移動速度を5cm/minに設定し、WJが各セラミックス板に均一に当たるように配慮した。数回のトラバース後、セラミックス板の耐摩耗性の比較を行った。

(2) 実験結果

耐摩耗性の比較では、ジルコニア系(ZrO₂)が最も優れ、炭化珪素系(SiC)および窒化珪素系(Si₃N₄)は、ほぼ同等であった。

ジルコニア系のWJが当たった箇所は、わずかに摩耗しているものの、その表面は非常に滑らかであり、粒子が細かいのがうかがえた。これに対し炭化珪素系、窒化珪素系は、表面がザラザラしており、粒子が粗いのがうかがえた。

4-3 切断時の振動加速度レベルの計測による鉄筋探査実験

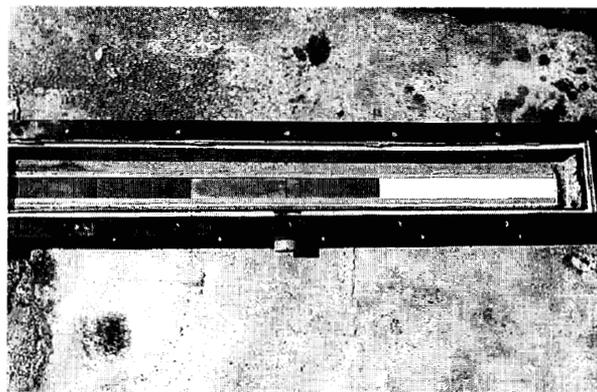


Photo 5 キャッチャー内セラミックス板

(1) 測定方法

振動測定は圧電式振動加速度レベル計を4台使用し、多点同時に行った。受振器(ピックアップ)の取り付け方法は、測定データの信頼性を大きく左右する要因にもなることから、取り付け面がでる限り滑らかに試験体に対する密着性および垂直性を損なわぬように行った。

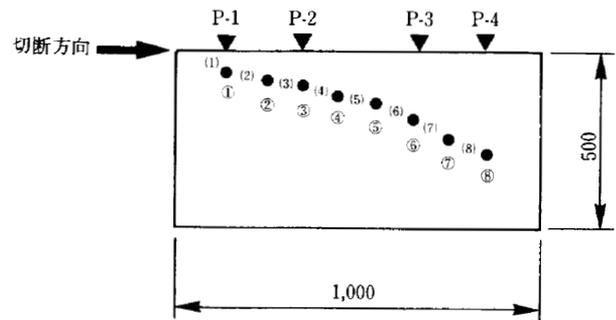
実験は、鉄筋コンクリートの被りをパラメータとした切断実験と同時に行った。このため試験体は、Fig.5~7に示したのを用いた。

受振器の設置位置および分析点を Fig.14 に、設置状況を Photo 6 に示す。

ピックアップコードの延長については、内部雑音が増大するので、長さは測定条件を考慮し、必要最小限にとどめた。

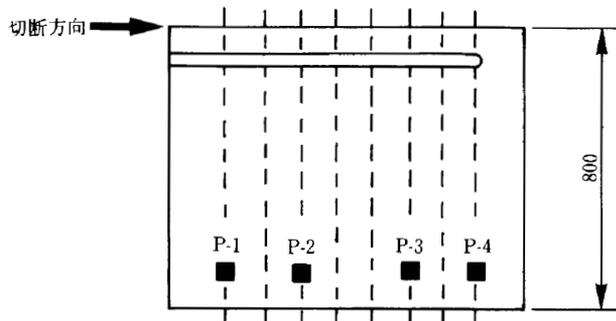
鉄筋コンクリート部材を切断する時、部材厚さを考慮しつつ、埋設鉄筋の切断が可能な効率的な切断速度(ノズル移動速度)および埋設鉄筋を検知する必要がある。

測定は切断実験サイクルを試験体の切断速度(3, 5, 7.5, 10, 15, 20cm/min)別に、ジェットポンプ始動→切断開始→停止の順に従い、全作業工程についてデータレコーダに収録した。



(立断面図)

P-1~4: 測定位置
(): コンクリート部分分析点
○: 鉄筋部分分析点



(平面図)

(D13, 16, 22使用)

Fig.14 受振器設置位置

(2) 計測システム

計測機器のシステムを Fig. 15 に示し、計測状況を Photo 7 に示す。

(3) 測定項目

測定は、鉄筋コンクリートの切断時の振動加速度レベルと距離減衰傾向を把握する。

(4) 測定結果

D22の鉄筋を用いた試験体の切断面状況と振動加速度波形の一例を Fig. 16 に示す。これは、測定点 P-1

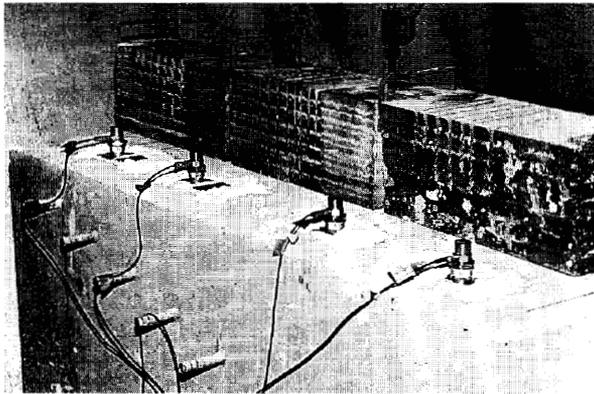


Photo 6 受振器設置状況

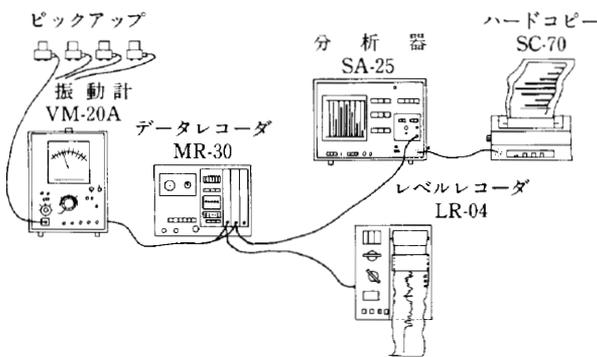


Fig.15 計測システム

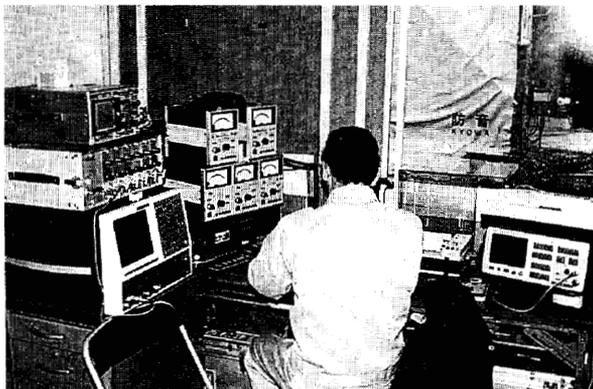


Photo 7 計測状況

～4における切断速度20cm/minの波形記録である。

Fig. 16 より、振動加速度波形は、鉄筋部切断時には衝撃的な不規則変動が生じ、コンクリート部については周期的であった。また切断開始時に最大値が表れ、全般に鉄筋位置でのレベルの上昇が認められた。

次に、測定結果一覧を Table 1～3 に示す。

Table 1 は、切断速度をパラメータとした鉄筋部切断時の振動加速度波形より得られた振動加速度レベルを示す。

Table 2 は測定点 P-1 における、切断速度20cm/minでのコンクリート部切断時の振動加速度レベルとその周波数分析を、Table 3 は同様に、鉄筋部切断時の振動加速度レベルとその周波数分析をそれぞれ示す。

なお Table 2,3 から各帯域ごとの振動加速度レベルの最大値と最小値をプロットしたものを Fig.17 に示す。鉄筋部およびコンクリート部切断時の周波数は、2 kHz～10kHz がともに卓越している。しかし、100Hz～500Hz の帯域では、鉄筋部切断時がコンクリート部切断時よりも約10dB 程度増幅する傾向を示している。

これらの実験結果より、振動加速度レベルの変動値を計測するとともに、周波数分析による振動特性から鉄筋検知の可能性が得られた。

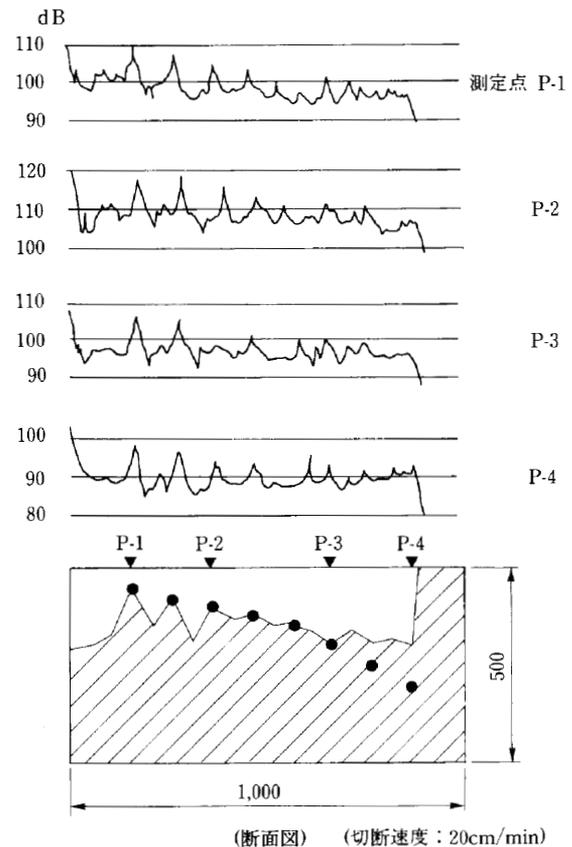


Fig.16 試験体切断面状況および振動加速度波形

4-4 油圧式ベイククラッシャーを用いた小割り実験

(1) 実験方法および効果

壁の出入り口などの切断の場合、ノズル移動装置および防音カバー・キャッチャーの構造上どうしても、床上が若干切れ残る。そこで、この切れ残りを無振動・無騒音で撤去する方法として、油圧破砕器のベイククラッシャーを用いた。

破砕間隔は約15cmで行った。作業はリモコン装置によって行うが、本体のセットおよびツメが軀体に噛み合うまでは人力で行わなければならない。このため下向きの作業では問題はないが、上向き、横向きでは、機械の自重を支えなければならず、作業に工夫を要する必要があることがわかった。

また切断されたブロックの小割りにも使用してみた

Table 1 鉄筋部切断時の振動加速度レベル

		振動加速度レベル (dB)																							
		3cm/min				5cm/min				7.5cm/min				10cm/min				15cm/min				20cm/min			
分析点	測定点	P-1	P-2	P-3	P-4	P-1	P-2	P-3	P-4	P-1	P-2	P-3	P-4	P-1	P-2	P-3	P-4	P-1	P-2	P-3	P-4	P-1	P-2	P-3	P-4
	①		115	115	108	112	107	116	106	101	105	115	102	102	106	115	103	99	109	117	104	100	107	115	103
②		—	—	—	—	103	110	102	99	107	114	103	98	104	112	101	97	105	118	103	98	103	117	102	94
③		—	—	—	—	102	111	104	99	100	111	102	97	101	114	105	95	104	114	103	97	102	111	100	93
④		—	—	—	—	—	—	—	—	102	98	99	96	102	113	104	98	101	112	100	94	100	111	99	92
⑤		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	112	118	113	108	99	107	100	93	99	109	97	90
⑥		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	101	123	101	96	99	110	99	91
⑦		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	101	—	99	—	100	110	100	90
⑧		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99	108	98	93

※表記数値は、波形記録の鉄筋部での直読値(ピーク)である。

Table 2 コンクリート部切断時の周波数分析

		振動加速度レベル (dB)										
		AP	31.5	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K
分析点	周波数(Hz)											
	(1)		111	59	65	60	62	69	81	96	102	100
(2)		108	53	65	54	59	67	80	92	99	98	89
(3)		105	56	61	56	59	65	79	88	96	94	83
(4)		107	57	62	57	58	65	79	87	97	96	83
(5)		106	56	63	54	56	64	79	88	97	97	82
(6)		104	58	55	54	57	64	78	87	95	95	81
(7)		104	59	65	56	56	62	74	87	95	95	79
(8)		104	57	62	56	56	62	73	90	93	97	79

※測定点P-1における、切断速度20cm/min時の振動加速度レベル。(3帯域の平均値)

Table 3 鉄筋部切断時の周波数分析

		振動加速度レベル (dB)										
		AP	31.5	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K
分析点	周波数(Hz)											
	①		116	64	66	69	71	75	80	93	104	103
②		113	63	63	62	64	69	80	92	104	103	97
③		112	59	64	59	61	67	78	91	102	103	93
④		109	57	62	55	58	65	80	88	99	100	84
⑤		108	58	64	54	56	63	78	90	99	98	85
⑥		109	57	65	54	58	65	81	93	100	100	84
⑦		109	56	65	54	58	63	78	96	98	100	84
⑧		108	57	62	55	57	63	76	94	96	99	83

※測定点P-1における、切断速度20cm/min時の振動加速度レベル。(3帯域の平均値)

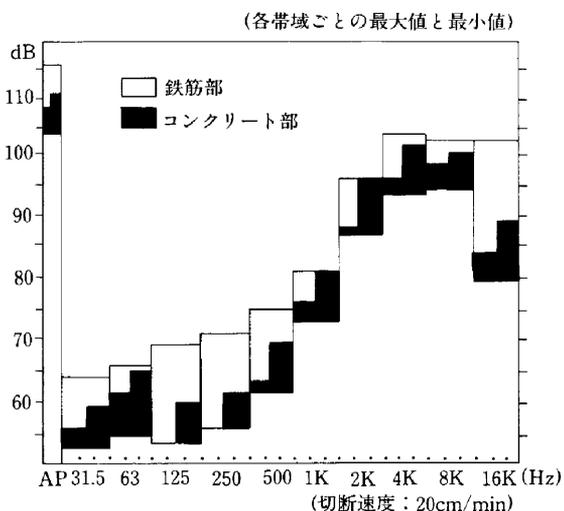


Fig.17 周波数分析結果

が、横向きでの作業が生ずる場合は同様のことが言えた。ただし実用上は、十分に機能を果たし得ることがわかった。

4-5 考察

実用化への応用実験より、以下の事項が明らかになった。

- ① キャッチャー内に取り付けるセラミックス板の生成成分の違いによる耐摩耗性の比較ではジルコニア系 (ZrO_2) が最も優れ、炭化珪素系 (SiC) および窒化珪素系 (Si_3N_4) は、ほぼ同等であった。
- ② WJを用いたリフォーム工事で、鉄筋コンクリートの壁・床等の切断を行う際、埋設された鉄筋を効率よく切断する方法として、切断過程での振動加速度レベルの変動値を計測することにより、鉄筋検知の可能性が得られた。
- ③ WJを用いたリフォーム工事で、切れ残った部分が生じた場合や切断されたブロックの小割りに無振動・無騒音工法としての油圧式ベビークラッシャーの使用効果が確かめられた。

§5. おわりに

(その1)に引き続き、ARA-JIN工法の基礎技術の開発を行った。今後は、より高性能のジェットポンプを用いた基礎実験、ならびに原子力発電所のデコミを含む、すべての建設分野にわたる実用化への応用実験を予定している。

最後に、本工法の開発に際し、平塚製作所の多大な御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。