

ウォータージェット工法による切断技術の開発（その3） （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）

Development of Water-Jet Cutting System
(Part 3, A Fundamental Study and a Development of Cutting System on Reinforced Concrete Structures)

宮下 剛士* 笠松 照親**
Takeshi Miyashita Teruchika Kasamatsu

山内 次郎***
Jiro Yamanouchi

要 約

構造物を解体・切断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。そこで既報（その1）、（その2）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。本報でも、ウォータージェットに研磨材を混入して飛躍的に切断能力を高めたアブレイブジェット工法ならびにウォータージェットのみを使用するランス工法について基礎実験を行っているが、今回の実験の特徴は、超高压ポンプの能力（最大吐出圧力）がこれまでの2800kgf/cm² (274MPa) から3850kgf/cm² (377MPa) に大きくレベルアップしたことで、それに伴い、切断能力のアップが見込まれることである。実験の結果、1回の切断で無筋コンクリートの場合60cm、鋼板の場合15cmの切断が可能であることが確認された。

また本報では、西松式ウォータージェット工法(ARA-JIN工法)を用いて、鉄筋コンクリート造躯体の一部を実際に解体した結果についても報告する。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 基礎実験
- §3. 実用化への施工実験
- §4. おわりに

§1. はじめに

近年、建築・土木構造物の切断・解体に関する技術が進歩を遂げ、いろいろな工法が開発、実施されている。

ウォータージェット(以下WJ)を利用した工法もその特徴を生かした使用例が多くなってきており、将来の原

子炉建屋解体にも検討されている。

WJには、水だけの使用で主に洗浄、剥離に利用するランス工法と、WJに研磨材を混入させて飛躍的に切断能力を高めたアブレイブジェット(以下AWJ)工法がある。

既報(その1)、(その2)では、最大吐出圧力2800kgf/cm² (274MPa)の超高压ポンプを使用した基礎実験および周辺機器の開発について報告してきたが、本報ではさらに、最大吐出圧力3850kgf/cm² (377MPa)という国内でもあまり使用例のない超高压ポンプを用い、その切断・切削能力の把握を目的として実験を行ったので、その結果について報告する。

*技術研究所原子力課係長

**技術研究所原子力課長

***技術研究所研究部長

§ 2. 基礎実験

2-1 実験装置

実験装置には前報までと同様に、超高压ポンプ、高压ホース、ノズル、ノズル移動装置および AWJ 工法では研磨材供給装置などがある。今回の実験装置の特徴は、超高压ポンプにフローインターナショナル社(米国)製の55DQ型を用い能力を高めたこと、研磨材供給装置を自然落下方式からロータリー方式にして供給量の制御を容易、かつ高精度としたことが挙げられる。

55DQ型は、最大吐出圧力3850kgf/cm²(377MPa)(常用圧力3500kgf/cm²(343MPa))、最大吐出水量13.6ℓ/minで動力にはディーゼルエンジンを使用している。

2-2 試験体

切断対象物として、AWJ工法では無筋コンクリート・鉄筋コンクリートおよび鋼板、ランス工法では無筋コンクリートとした。材料には、無筋コンクリートではコンクリート強度(以下 F_c)=210kgf/cm²(20.6MPa)を基本に、一部 F_c =400kgf/cm²(39.2MPa)、600kgf/cm²(58.8MPa)を用いた。鉄筋コンクリートでは F_c =210kgf/cm²(20.6MPa)を用い、鉄筋は D13, 16, 22とした。

鉄筋コンクリートでは、鉄筋被り厚さをパラメータとしたものをタイプI、柱・梁あるいは地下連続壁を想定したものをタイプII、壁・スラブを想定したものをタイプIIIとした。

鉄筋コンクリート試験体を Fig. 1 に示す。

鋼板は SS41材を用いた。

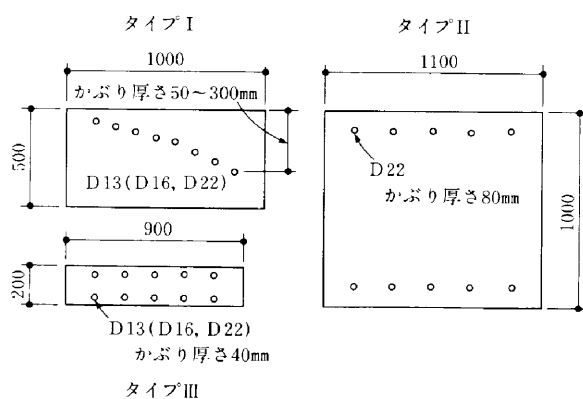


Fig.1 試験体形状(鉄筋コンクリート)

2-3 切断要素

AWJ切断に関して大きく影響する要素としては、研磨材の種類、吐出圧力、ノズル移動速度、オリフィス径(吐出水量)、トラバース(切断繰返し)回数、研磨材供給量がある。

これまでの研究成果より、研磨材には切断能力の高いガーネット#36を使用し、スタンドオフ(ノズルと切断物との距離)は1.0cm、オリフィス径は0.7mmとした。

吐出圧力は無筋コンクリートでは1000~3500kgf/cm²(98~343MPa)(500kgf/cm²(49MPa)ピッチ)、その他は3500kgf/cm²(343MPa)(一部、2500kgf/cm²(245MPa))、ノズル移動速度は実施工を考慮して最低3cm/min(最大20cm/min)、トラバース回数は基本的に1回(タイプIIのみ1~4回)、研磨材供給量は装置の能力より最大3kg/minとした。また、ノズル角度(ノズルと切断物のなす角度)については基本的に90°であるが、タイプIIIのみ75°を加えた。なお、吐出水量はポンプの性能により、次式となる。

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

Q : 吐出水量 (ℓ/min)

P : 吐出圧力 (psi)

d : オリフィス径 (inch)

ただし、吐出圧力についてはポンプ操作盤の表示値としたので、実際のノズル噴射部での圧力は、本実験装置では約240kgf/cm²(23MPa)を減じた値となる。

ランス工法による切削では、吐出圧力、ノズル移動速度およびノズル孔角度をパラメータとした。

2-4 アプレシブジェット工法実験結果

(1) 無筋コンクリート

無筋コンクリートでは、トラバース1回における切断能力の把握を目的とした。

吐出圧力と切断深さの関係を Fig. 2, 3 に示す。

本実験条件においては、吐出圧力が増すほど、研磨材供給量が増えるほど、ノズル移動速度が遅いほど切断深さが増加し、吐出圧力3500kgf/cm²(343MPa)、ノズル移動速度3cm/min、研磨材供給量3kg/minの場合、切断深さ約60cmとなった。また高強度 F_c =400, 600kgf/cm²(39.2および58.8MPa)においても切断深さにはほとんど差がみられなかった。

(2) 鉄筋コンクリート

① タイプI

タイプIは、切断能力の限界として吐出圧力3500kgf/cm²(343MPa)、研磨材供給量3kg/minについて実験した。

鉄筋切断状況を Table 1 に示す。表より、D13についてはノズル移動速度5cm/minで深さ30cm、D16およびD22についてはノズル移動速度3cm/minで深さ25cm、またD22についてはノズル移動速度20cm/minでも切断深さ5cmまで切断可能であることがわかる。

② タイプII

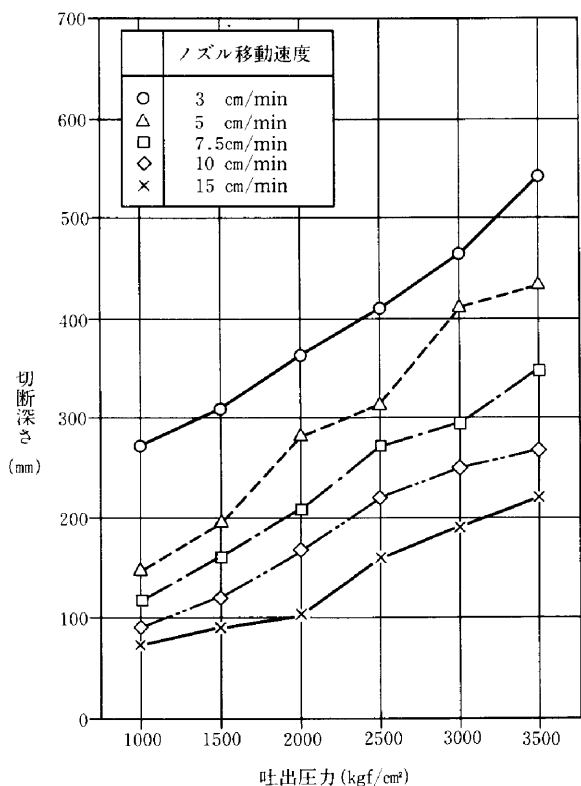


Fig.2 吐出圧力と切断深さの関係 (研磨材供給量 2 kg/min)

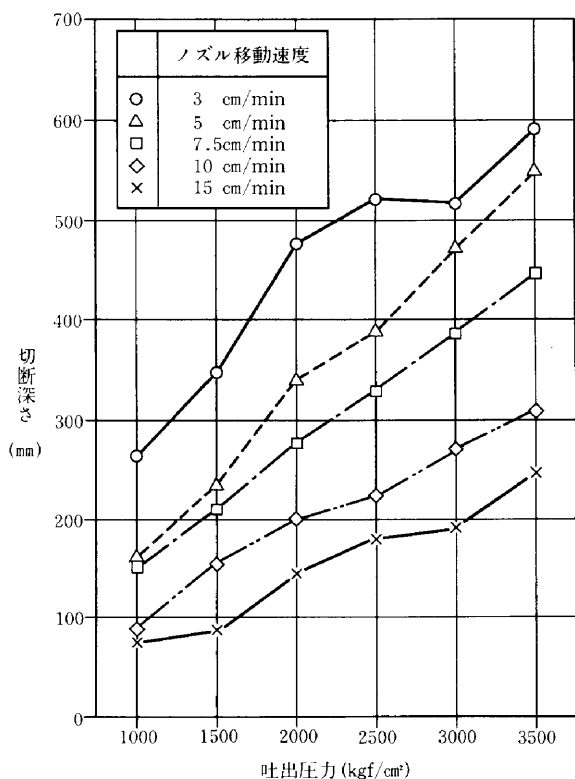


Fig.3 吐出圧力と切断深さの関係 (研磨材供給量 3 kg/min)

Table 1 鉄筋切断状況 (タイプI)

鉄筋径	かぶり (mm)	切断速度 (cm/min)					
		3	5	7.5	10	15	20
D13	50	○	○	○	○	○	○
	75	○	○	○	○	○	○
	100	○	○	○	○	○	×
	125	○	○	○	○	△	×
	150	○	○	○	○	△	×
	200	○	○	△	△	×	×
	250	○	○	△	△	×	×
	300	○	○	×	×	×	×
D16	50	○	○	○	○	○	○
	75	○	○	○	○	○	○
	100	○	○	○	○	○	△
	125	○	○	○	○	△	△
	150	○	○	○	△	△	△
	200	○	○	△	△	×	×
	250	○	△	△	×	×	×
	300	△	×	×	×	×	×
D22	50	○	○	○	○	○	○
	75	○	○	○	○	○	△
	100	○	○	○	○	△	×
	125	○	○	○	△	△	×
	150	○	○	△	△	×	×
	200	○	○	△	×	×	×
	250	○	×	×	×	×	×
	300	△	×	×	×	×	×

<切断条件> 吐出圧力: 3500kgf/cm²
 研磨材供給量: 3 kg/min
 <凡例> ○: 完全切断
 △: 不完全切断
 ×: 切断不可能

タイプIIは、吐出圧力を2500および3500kgf/cm² (245および343MPa) の2種類とし、トラバース回数を最大4回とした。

切断状況の1例を Fig. 4 に示す。図より、太径鉄筋の配筋でもトラバース1回で鉄筋とコンクリートが同時に40~50cm切断でき、トラバース4回で約1mの切断ができることがわかる。ただし背面部の鉄筋については、トラバース回数にかかわらず、切断できなかった。

③ タイプIII

タイプIIIは、吐出圧力を3500kgf/cm² (343MPa)、一部2500kgf/cm² (245MPa) とし、ダブル配筋では下端筋が完全に切断できないため、ノズル角度を90°、75°とした。

鉄筋切断状況を Table 2 に示す。表より、どの条件でも上端筋は切断できるものの、D13について吐出圧力、研磨材供給量とも最大にしても、ノズル角度90°ではノズル移動速度5 cm/min以下でなければ切断できない。しかし、ノズルを75°に傾けることで研磨材供給量を1 kg/minに、あるいはノズル移動速度7.5cm/minにすることができることがわかった。

(3) 鋼板

鋼板では、切断能力の限界としてノズル移動速度3 cm/min一定、あるいは吐出圧力3500 kgf/cm² (343MPa) 一定として実験した。

吐出圧力・ノズル移動速度と切断深さの関係を Fig. 5 に示す。図より、最大で15cm、ノズル移動速度15cm/minの場合でも4cmの切断が可能であることがわかる。また

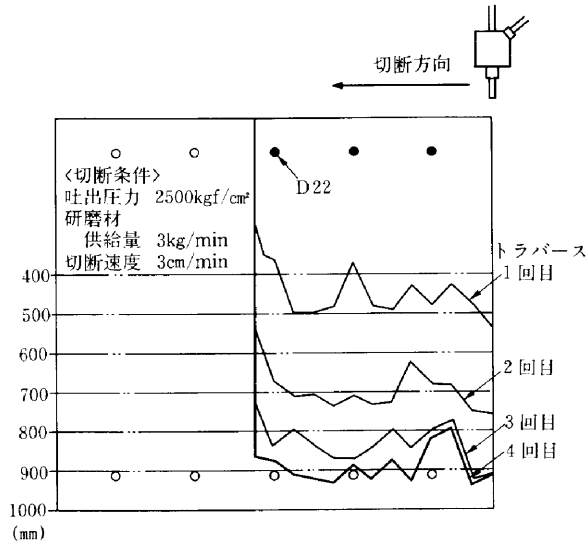


Fig.4 切断状況(タイプII)

研磨材供給量 2 kg/min と 3 kg/min では、あまり差がみられなかった。

2-5 ランス工法実験結果

切削には2孔ランスノズルを用い、オリフィス径を0.45mm一定とし、ノズル孔角度を30°, 45°の2種類とした。

吐出圧力と切削深さの関係を Fig. 6 に示す。図より、切削深さはノズル移動速度にあまり影響されず、吐出圧力の増加につれて深くなっていき、吐出圧力3500kgf/cm² (343MPa) で40~50mmとなった。

2-6 考察

実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 無筋コンクリートの場合、コンクリート強度にかかわらず、切断要素の組合せにより任意の切断深さが設定できる。またトラバース1回で60cm程度、トラバース数回の繰り返して1m程度の切断が十分可能である。
- ② 鉄筋コンクリートの場合、吐出圧力3500kgf/cm² (343MPa)、トラバース1回で鉄筋被り厚さ25cmの切断が可能である。また通常の被り厚さ5cm程度であれば、鉄筋とコンクリートを同時に約40cm切断することができる。
- ③ 鉄筋コンクリートで配筋がダブルの場合、吐出圧力3500kgf/cm² (343MPa) でもノズル角度90°では、下端筋の切断が困難であり、上、下端筋が重ならないようにノズルを傾けることが必要である。その結果、切断深さを約5割程度増加できる。
- ④ 鋼板の場合、1回のトラバースで最大15cmの切断が可能である。
- ⑤ ランス工法による切削では、吐出圧力 (吐出水量)

Table 2 鉄筋切断状況 (タイプIII)

鉄筋径	吐出圧力 (kgf/cm ²)	ノズル角度	研磨材供給量 (kg/min)	ノズル移動速度 (cm/min)											
				1			2			3			7.5	10	
D13	3500	90°	上端筋	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○
			下端筋	△	△	×	-	△	△	-	○	○	×	×	×
		75°	上端筋	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	○	-
			下端筋	-	○	△	-	-	-	-	-	-	○	△	-
	2500	90°	上端筋	○	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-
			下端筋	-	-	-	-	-	-	△	×	×	-	-	-
D16	3500	90°	上端筋	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			下端筋	△	△	×	○	△	×	○	△	×	×	×	×
		75°	上端筋	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-
			下端筋	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-
D22	3500	90°	上端筋	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○
			下端筋	-	-	-	-	-	-	△	×	×	×	×	×
		75°	上端筋	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-
			下端筋	-	-	-	-	-	-	-	○	△	-	-	-

[凡例] ○：完全切断
△：不完全切断
×：切断不可能
-：未実験

の影響が大きい。

§3. 実用化への施工実験

3-1 実験概要

当社の超高層 RC 実験構造物の一部解体にあたり、検討の結果、AWJ 工法による解体撤去を実施することとした。解体部分は2階スラブ (約30m²) および2階跳ね出し梁1箇所である。スラブは厚さ15cm、タテヨコともD10・13-@200~250ダブル配筋で、梁はW65×H85cm、主筋D35の二段配筋である。

3-2 解体方法

解体は、現地において躯体をブロックに分け AWJ によって切断撤去し、トラックにて処理施設に搬出する方法を採用した。なお、スラブについては搬出時の重量・寸法を考慮して115×230cmにブロック割けし、梁については梁端部で切断して1ブロックとした。

切断ブロックの撤去は、ブロックにアンカーを打ち込み、吊り環をつけ、上部スラブより垂らしたワイヤにチェーンブロックを付けて吊り降した。なお上部スラブにワイヤを吊り降せない状況をも想定して、吊り降し治具による撤去についても実施した。切断中は上部より吊っ

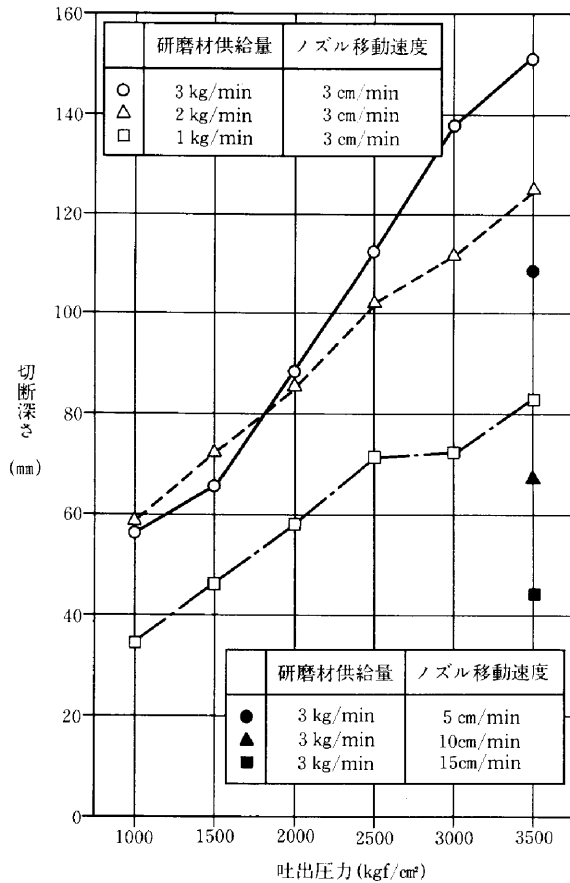


Fig.5 吐出圧力・ノズル移動速度と切断深さの関係 (切断対象：鋼板)

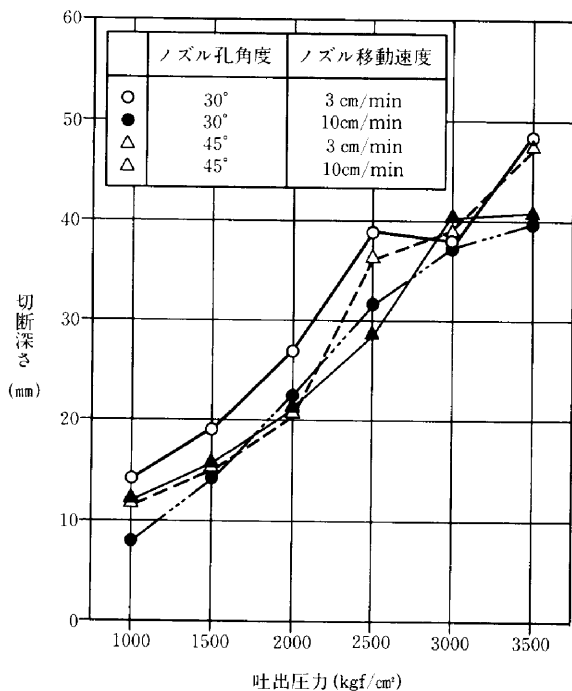


Fig.6 吐出圧力と切断深さの関係

ておくほかに、ブロック下に枠組足場を利用した支保工を架設してその重量を受け、また立ち入り禁止措置をと

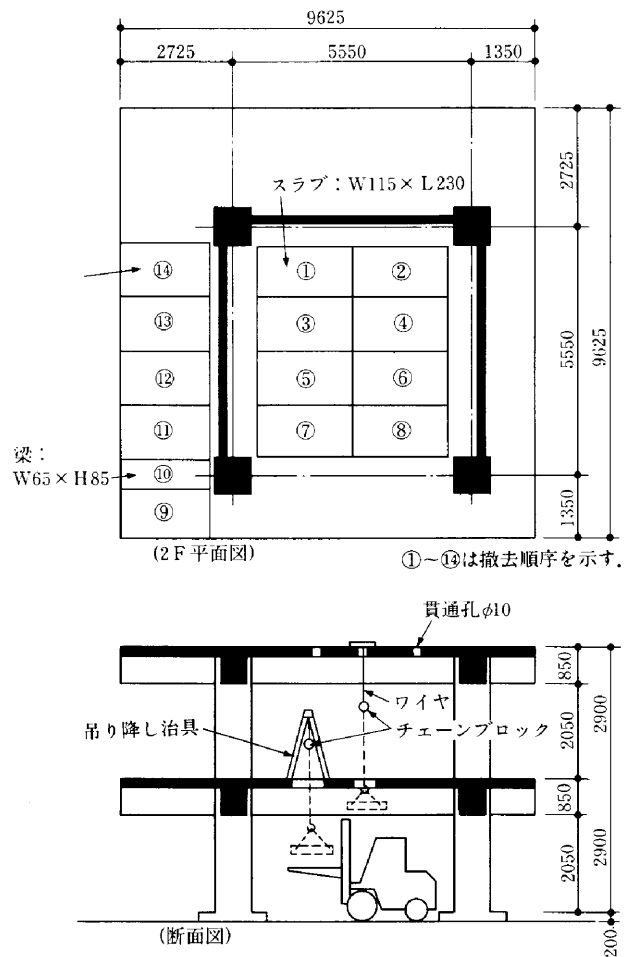


Fig.7 解体ブロック割り付けおよび撤去方法

り、安全を確保した。解体ブロック割り付けおよび撤去方法を Fig. 7 に示す。

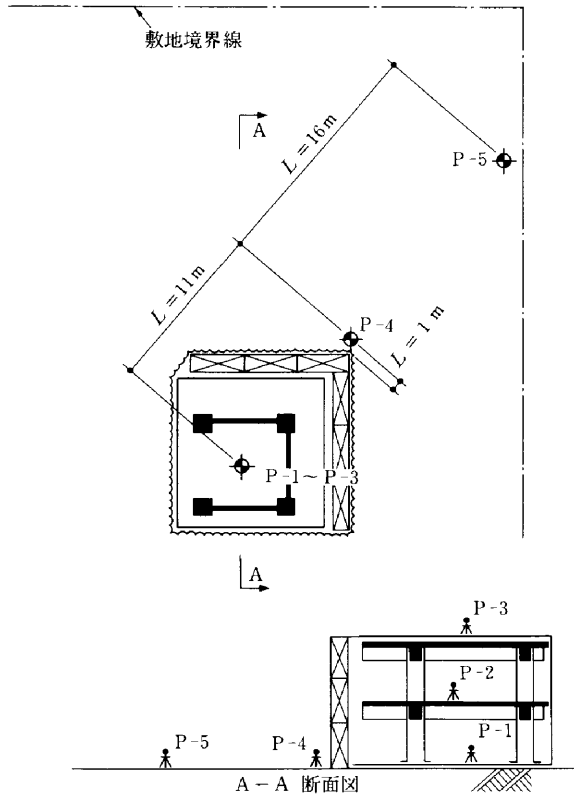
3-3 切断方法

今回の切断システムでは、現地の環境条件の許す範囲で防音カバー類および真空装置は使用せず、民家側の外周足場に二重に防音シートを張る方法をとった。このため、切断時の騒音が大きくなるので、切断要素の内の吐出圧力については2000kgf/cm² (196MPa) に設定した。研磨材供給量は2~3kg/min(梁は3kg/minのみ)、ノズル移動速度はスラブで5~10cm/min、梁で1~3cm/minとした。切断作業状況を Photo 1, 切断撤去後の状況を Photo 2 に示す。

3-4 騒音測定

切断に先立ち、周辺への影響をみるため、吐出圧力をパラメータにした騒音測定を行った。

騒音測定位置を Fig. 8, 測定結果の1例を Fig. 9 に示す。測定の結果より、吐出圧力3000kgf/cm²(294MPa)を越えると、特に騒音レベルが高くなるのがわかり、



★印：切断場所(音源)

Fig.8 騒音測定位置

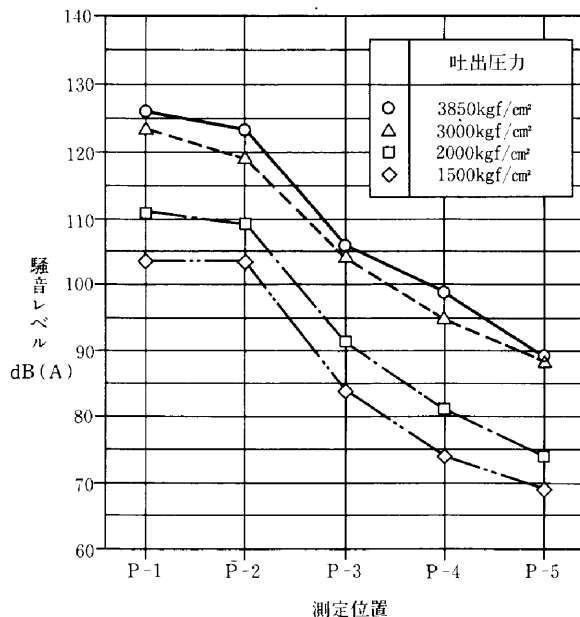


Fig.9 騒音測定結果
(研磨材供給量 3 kg/min)

(民家側) 敷地境界で75dB程度となる吐出圧力2000 kgf/cm² (196MPa) を採用することにした。

3-5 実験結果および考察

施工実験の結果、以下のことが明らかとなった。

① 切断は作業員2名で行われ、超高圧ポンプが施工場

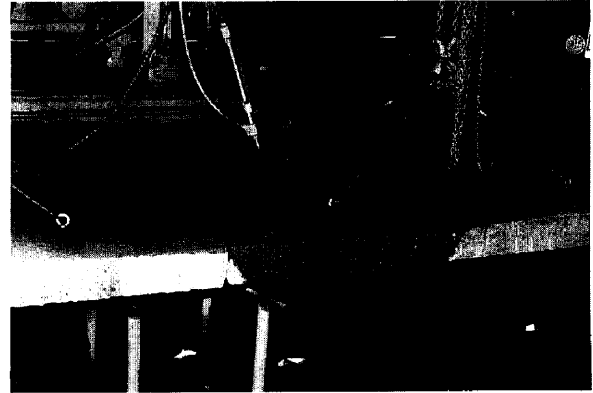


Photo 1 切断作業状況

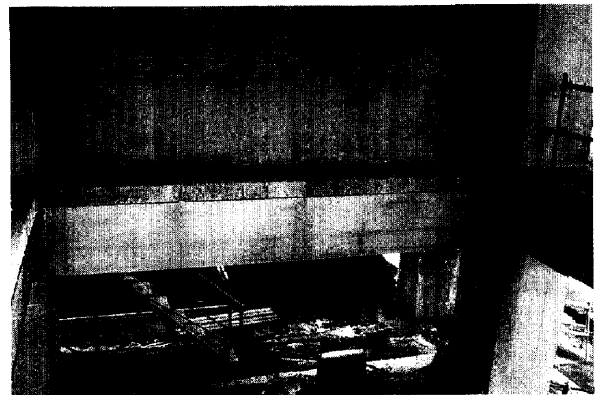


Photo 2 切断除去後の状況

所近くにあったことや、しだいに作業に慣れてきたことで、比較的スムーズに進んだが、作業効率や安全を考えると3名の作業員が適切である。

- ② 施工歩掛りとしては、実験的にいろいろなパラメータを実施したため今後のデータの蓄積が必要となるが、スラブ切断については切断装置や方法によるが20~25min/m程度が目安となる。
- ③ ブロック割りによる解体・撤去方法において、今回使用した吊り降し治具が作業性や安全性において有効である。
- ④ 切断面は比較的なめらかで、残存部躯体にはクラック等の影響はみられない。
- ⑤ 今回は騒音対策についてあまり考慮されていないが、騒音対策が完備された場合、AWJ利用による構造物のブロック解体・搬出工法が適用可能である。

§4. おわりに

今回の実験により、国内でもあまり使用例のない吐出圧力3850kgf/cm² (377MPa) の超高圧ポンプの切断能力を把握することができた。今後も引き続き、基礎実験によりデータの積み重ねを行うとともに、実用化に向けた実験を実施して行く予定である。