

ワイヤーソー乾式大断面引張り切断試験



稲井 慎介*1

神山 義則*1

概 要

わが国最初の商業用原子力発電所が1966年に運転を開始して以来多くの原子力発電所が建設されてきた。一方、最初の商業炉（日本原子力発電東海発電所1号機）の解体届が昨年10月に出され、わが国における本格的な廃止措置が着手された。今後も、同じように高経年化などの理由から廃止措置になる原子力発電所あるいは原子炉研究施設がでてくると予想される。このような背景から、効率的な原子力施設の解体技術をはじめとする廃止措置技術が求められている。

筆者らは、これまで各種の原子炉生体遮へい壁解体システムの概念的検討および実験的研究として、遠隔自動制御によるカッター工法およびワイヤーソー工法を原子力施設解体に適用する研究開発を進めてきた。

ワイヤーソー工法は、切断対象の形状に制約がなく大断面切断・狭隘な場所での切断が可能であるとともに切断効率の点でも優れていることから、原子力施設のような大断面で鉄筋量の多いコンクリート構造物を効率的かつ安全に解体する工法として有効である。一般に、冷却水を使用する切断では、冷却水による浸透汚染、二次廃棄物量の低減などに課題があることから、冷却水を使用しない切断方法（乾式切断）が求められる場合も多いと考えられる。

本報告は、ワイヤーソー工法の原子力施設解体への適用性をより広げるものとして、乾式大断面引張り切断の基礎的試験を実施し、効率的な切断条件と切断特性を示したものである。

本試験より、以下の事項が明らかになった。

- ・安定した乾式引張り切断が可能な切断条件が把握できた。
- ・切断条件によっては、ビーズに平滑摩耗が生じ、切断能率が低下する可能性があることがわかった。
- ・乾式引張り切断におけるワイヤーソーの温度上昇は、耐久性に問題のない範囲であった。

DEVELOPMENT OF DRY CUTTING TECHNIQUES FOR LARGE SECTION REINFORCED CONCRETE BY WIRE SAWING - CUTTING TESTS -

Shinsuke INAI*1

Yoshinori KAMIYAMA*1

This paper describes the diamond wire saw dry cutting techniques of large section reinforced concrete for dismantling of nuclear facilities. Now a day, the decommissioning of first commerce nuclear power plant in Japan, Tokai Power Station of JAPC was setting in 2001. In the near future, it is anticipating more nuclear power plants or nuclear facilities similarly will come to the life and will be dismantled continually. We have been developing the conceptual design for a dismantling system for various concrete shielding of nuclear facilities. In order to apply a wire sawing method of dismantling of nuclear facilities, we have developing dismantling techniques by wire sawing through the cutting tests. Diamond wire saw cutting technique is excellent the radioactive concrete of nuclear facilities in large blocks on the waste management and dismantling efficiency. The normally wire sawing method using cool water brings about cross contamination due to penetration of radioactive nuclide into concrete. Other hand, as dry cutting is able to avoid these cases, diamond wire saw dry cutting method is very hopeful in aspect of reduction of secondary waste. So, we have carried out the basic wire saw dry cutting tests for large section reinforced concrete by pulling method in which changing parameter that are circular speed, wire tension and cutting area for large section reinforced concrete. In this study, we have obtained quantitative data on cutting efficiency, temperature of wire saw, abrasion of wire saw and cutting noise for stable cutting. And we have found a way to prevent lowering of cutting efficiency by under controlled condition. The summary is showed as following.

- (1) The stable dry cutting condition could be obtained.
- (2) In some condition, a flat abrasion occurred to the beads of wire saw. In this case, it was found that cutting efficiency became lowering noticeably.
- (3) The temperature of wire saw during the cutting was a safety range in durability.

*1 技術研究所 原子力室

*1 Nuclear Power Div., Technical Research Institute

ワイヤーソー乾式大断面引張り切断試験

稲井 慎介*1

神山 義則*1

1. はじめに

わが国最初の商業用原子炉の解体届が昨年に提出され、本格的な原子力発電所の廃止措置が着手された。近い将来、同じように高経年化などの理由から原子力発電所、あるいは原子力研究施設の廃止措置（解体）が予想される。このような背景から、原子力施設の廃止措置に係わる効果的な解体技術の確立が求められ、各関係機関で解体工法など各種の研究開発が進められてきた。

そのひとつとして、(財)原子力研究バックエンド推進センター（旧：(財)原子力施設デコミッションング研究協会、略称RANDEC）の「ワイヤーソーによる切断技術の開発」*1がある。この研究では、ワイヤーソー切断工法の原子力施設の鉄筋コンクリート構造物解体への適応性が検証され、報告^{1)~4)}された。図-1.1にワイヤーソーによる原子炉施設解体システム概念図を示す。

ワイヤーソー切断工法は、切断対象の形状に制約がなく大断面切断・狭隘な場所での切断が可能であるとともに切断速度・振動・騒音などの点でも優れていることから、大断面で鉄筋量の多いコンクリート構造物を効率的かつ安全に解体する工法として有効である。

一般に、冷却水が使用されるワイヤーソー切断では、冷却水による浸透汚染、二次廃棄物量の低減などに課題があると言われている。これに対し、原子炉施設では構造物の汚染、放射化などの状況により、冷却水をできるだけ使用しない乾式切断が求められる。

乾式切断試験として、1~2㎡程度の比較的小さな断面では良好な切断性能が報告^{1)~4)}されているが、ワイヤーソー工法の適用性をより広げる課題として、大断面切断時の特性把握が挙げられる。

本報告はワイヤーソー工法の原子力施設解体への適用性をより広げるものとして、乾式大断面引張り切断の基礎的試験を実施し、効率的な切断条件と切断性能、ワイヤーソー温度、騒音などの切断特性を示したものである。

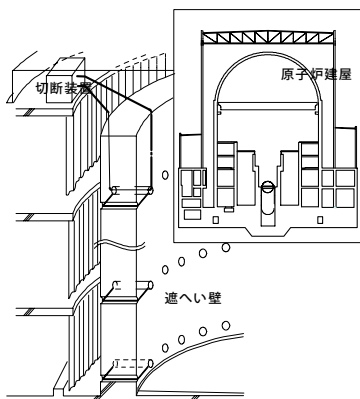


図-1.1 解体システム概念図

2. 目的

本試験は、鉄筋コンクリートブロックに対し、大断面乾式引張り切断を実施し、切断の可否を確認するとともに、切断能率、ワイヤーソーの温度上昇、ビーズ摩耗量などの切断特性、および効率的な切断条件を把握することを目的として実施した。

3. 試験方法と切断条件

3.1 ワイヤーソー工法

ワイヤーソー工法は、ダイヤモンド砥粒を埋め込んだビーズをスチールワイヤーに等間隔に配置したワイヤーソーを切断対象部に巻き付けて高速循環させ、鉄筋コンクリートや鋼材などを切断する工法である。ワイヤーソー切断の概念図を図-3.1に示す。本試験で使用したワイヤーソーは一般の建築解体工事に用いられているもので、その仕様を表-3.1に、ワイヤーソーの構造を図-3.2に示す。

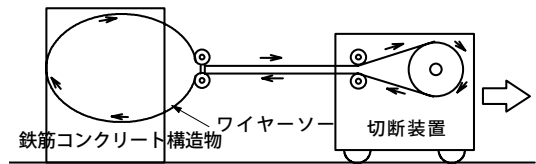


図-3.1 ワイヤーソー切断概念図

表-3.1 ワイヤーソー仕様

ビーズ	ピッチ	25mm
	外径	10.5mm
	ダイヤモンド層厚さ	1.25mm
	ダイヤモンド層長さ	6mm
	ボンド種類	6FB
	ボンド硬さ	95~100
スペーサー		ゴム

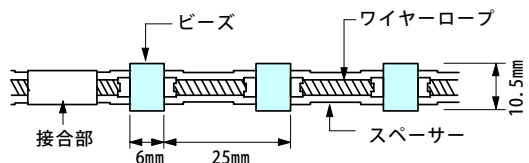


図-3.2 ワイヤーソー構造

3.2 試験体

試験体形状を図-3.3に、試験体および試験体配筋を図-3.4に示す。試験体は大断面切断を想定し3m×3m×高さ1m（切断面積：9㎡）とした。試験体のコンクリート基準強度は240kgf/cm²とし、D22鉄筋を切断面に直交

*1 技術研究所 原子力室

して、縦横 250mm ピッチに均等に配置した。一切断面あたりの鋼材率は約0.6%となる。切断初期のワイヤーソーの引掛かりを防止するために隅部には配筋していない。D13の横筋は位置固定用に配筋したものである。

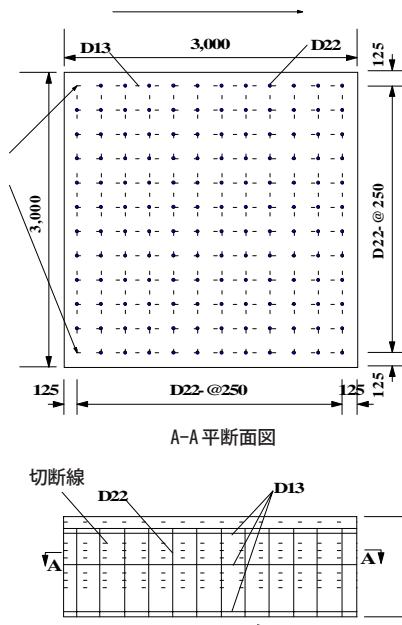


図 - 3.3 試験体形状



試験体

試験体配筋

図 - 3.4 試験体

3.3 切断装置

切断装置とその仕様をそれぞれ図 - 3.5、表 - 3.2に示す。切断装置は一般解体工事に用いられるものを使用した。



図 - 3.5 切断装置

表 - 3.2 切断装置仕様

動力	3φ 200V 50Hz 37kVA
最大循環速度	35m/s
機械寸法	W700×L3300×H1300
主要用途	気中切断一般用

3.4 試験方法

切断は図 - 3.6 に示すようにワイヤリングをして行った。ワイヤーソー長さは 20m とした。切断は水平引張り切断とし、ワイヤーソーの破断、装置からの外れを防止するため、試験体は最後まで切断せずに終了した。また、切断初期は、ワイヤリング形状が極度に鋭角になるのを防止するため、図の A 部にプーリーを設置した。切断試験状況を図 - 3.7 に示す。

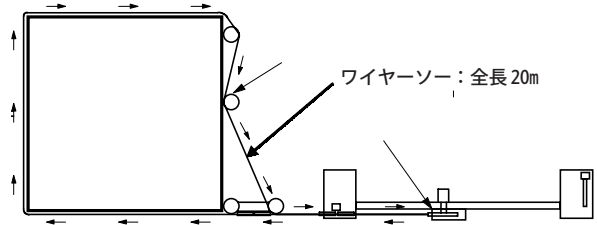


図 - 3.6 試験方法



図 - 3.7 切断試験状況

3.5 試験条件

試験条件を表 - 3.3 に示す。試験は、ワイヤリング面積、ワイヤーソー張力、循環速度をパラメータとして実施した。図 - 3.8 に示すようにワイヤリング面積は、ワイヤーソーと切断対象物の接触長さに関するパラメータと定義し、切断面積は斜線部に示すように実際に切断した面積と定義した。

表 - 3.3 試験条件

試験ケース	ワイヤリング面積 (m ²)	張力 (kgf)	循環速度 (m/s)
O	9.0	65	20
A	4.5	65	30
B	6.0		
C	9.0		
D	4.5	90	
E	6.0		
F	9.0		

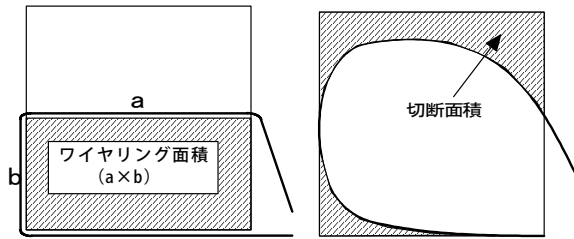


図 - 3.8 ワイヤリング面積と切断面積の定義

3.6 測定項目

試験時の測定項目を表-3.4に示す。測定項目は、切断能率、ワイヤーソー温度、ビーズ摩耗量、および切断時騒音とした。

切断能率は、切断面積1～2㎡ごとに切断を中断して測定した切断面積から算出した。ビーズ摩耗量は、同様に切断を中断して任意のビーズ5箇の外径をノギスにより計測した。また、冷却材を使用しない乾式切断では、切断中の温度上昇が問題となることが予想されるため、切断中随時放射温度計を用いてワイヤーソーの温度を計測した(図-3.9)。切断時の騒音は装置から3mおよび30m離れた地点において、騒音計を用いて測定した。また、シートを介しての騒音測定も実施した。

表 - 3.4 測定項目と測定方法

測定項目	測定方法
切断時間	ストップウォッチ計測
切断面積	スケール計測
ワイヤーソー温度	放射温度計による自動計測
ビーズ摩耗量	ビーズの平均直径計測
切断時騒音	騒音計により測定 (30m、3m、3m(シート遮音))

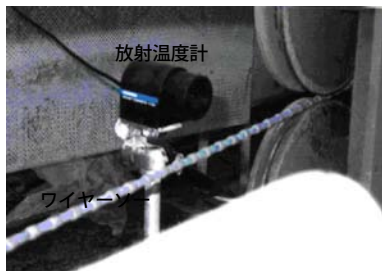


図 - 3.9 放射温度計によるワイヤーソー温度計測

4. 切断試験結果

4.1 切断能率

表-4.1に各ケースの切断試験結果一覧を示す。ワイヤリング面積9㎡、張力65kgfで循環速度の異なるケース0とケースCを比較すると、両者とも低い切断能率であり、循環速度の違いによる有意な差は見られなかった。

図-4.1に累計切断面積と切断能率の関係を示す。図は張力やワイヤリング面積の条件の違いを考慮せず、切断開始から終了までの全累計切断面積と切断能率の関係を示したものである。切断初期(累計切断面積4㎡まで)

表 - 4.1 切断試験結果一覧

試験ケース	ワイヤリング面積(㎡)	張力(kgf)	循環速度(m/s)	切断能率(㎡/h)
0	9.0	65	20	0.17
A	4.5	65	30	0.44
B	6.0			0.50
C	9.0			0.12
D	4.5	90	30	1.29
E	6.0			0.97
F	9.0			0.15

は、ワイヤーソーが新品のために高い切断能率が得られる。しかしながら、高い切断能率が得られるのは切断初期のみであり、切断面積が増加するに従い切断能率は低下し、ほぼ一定の切断能率となる。この初期の高い切断能率をワイヤーソー切断工法の切断能率とすることは、切断能率を過大に評価することになる。このため、切断能率の評価においては、切断初期の結果は除くものとした。

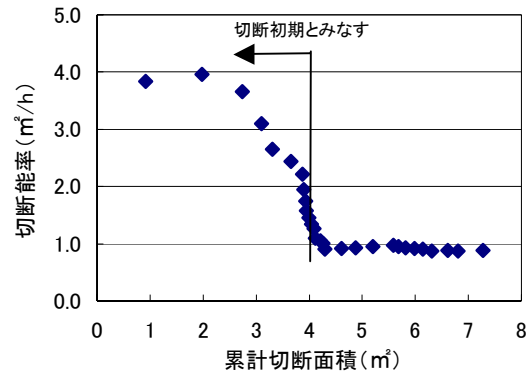


図 - 4.1 累計切断面積と切断能率の関係

図-4.2にワイヤリング面積と切断能率の関係を張力別に表示す。ワイヤリング面積の増加とともに切断能率の低下が見られた。張力90kgfで切断面積6㎡以下の条件においては、約1㎡/h以上の切断能率が確保できたが、他の切断条件においては低い切断能率であった。これらのケースでは、後述するビーズの平滑摩耗が生じており、これが大きな原因と考えられる。なお、ケースAの切断能率が、ケースBより低いのは測定誤差と考えられる。

図-4.3に各切断条件における切断能率を示す。図中の横軸は測定回数を示す。ワイヤリング面積9㎡においては、張力を高くしてもほとんど切断能率に変化がなく、極めて低い値であった。これは、切断面積9㎡に対しては90kgfでも張力が小さいためと考えられる。切断面積を4.5㎡、6㎡とした場合には、張力に比例して切断能率も高くなる結果が得られた。また、張力65kgfの設定では何れのケースにおいても低い切断能率であった。

以上のことから、実用上問題のない切断能率を1㎡/hとすれば、本試験範囲においては、切断面積6㎡以下、張力90kgfの条件が必要であると考えられる。

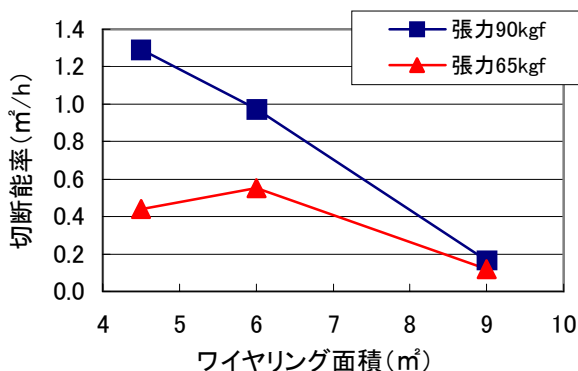


図 - 4.2 ワイヤリング面積と切断能率の関係

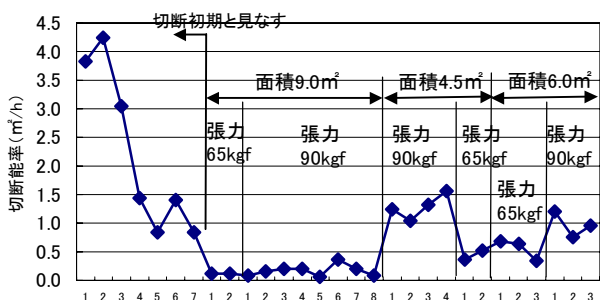


図 - 4.3 切断能率の比較

4.2 平滑摩擦

本試験において、ワイヤリング面積 9 m²の切断で切断能率が極度に低下する現象が生じた。これは、ビーズの平滑摩擦が原因と考えられる。

図 - 4.4にビーズ砥粒の寿命サイクルを示す。通常ワイヤーソー切断では、ダイヤモンド表面が磨耗 (②) した後、表面が破碎し (③、④) ダイヤが脱落 (⑤) してボンドのみとなった後に、これが削れて (⑥)、次のダイヤモンドが表面 (①) に出る。この繰り返しにより、ワイヤーソーは磨耗し、切断は行なわれる。しかし、ワイヤーソーの不良現象として図中の②の状態に極度にダイヤモンド表面が磨耗したまま、脱落しないことがある。これが平滑摩擦で、切断能率の低下をもたらす。本試験では、平滑摩擦が生じた場合の切断能率は 0.1 ~ 0.2 m²/h と非常に低かった。

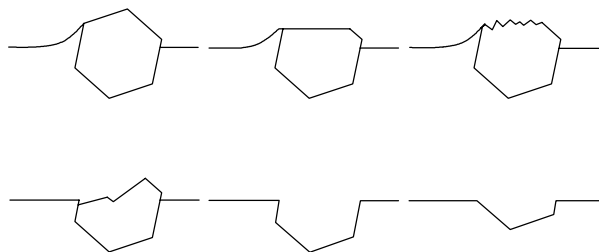
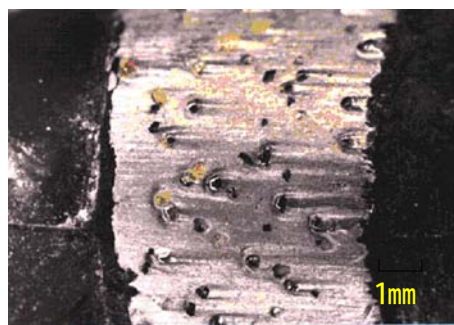


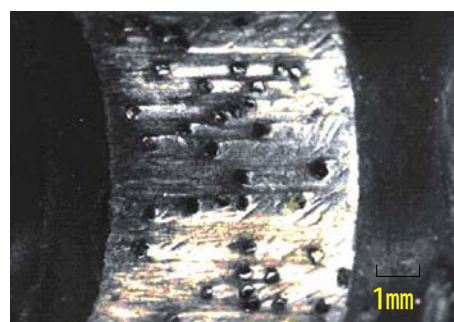
図 - 4.4 砥粒の寿命サイクル

図 - 4.5に健全なビーズと平滑摩擦が生じたビーズの拡大図を示す。ビーズ表面のダイヤモンドに平滑摩擦が生じると、ワイヤーソーは切断対象物との間を空回りするのみで、

ほとんど切断は進行しない。平滑摩擦が生じる原因のひとつとして、切断に寄与する張力 (実効張力) が不足していることが挙げられる。ワイヤリング面積が大きい場合、ワイヤーソーと切断対象部と接触長さが長くなるため、実効張力が不足しやすくなる。なお、湿式切断においては、通常平滑摩擦は生じないことから、その詳細なメカニズムは不明であるが、平滑摩擦は乾式切断特有の現象と考えられる。



健全なビーズ



平滑摩擦ビーズ

図 - 4.5 ビーズの拡大写真

4.3 ビーズの磨耗量

図 - 4.6に累計切断面積とビーズ外径の関係を示す。図中のデータは張力 50 ~ 90kgf の範囲でのデータを示しており、張力は一定ではない。

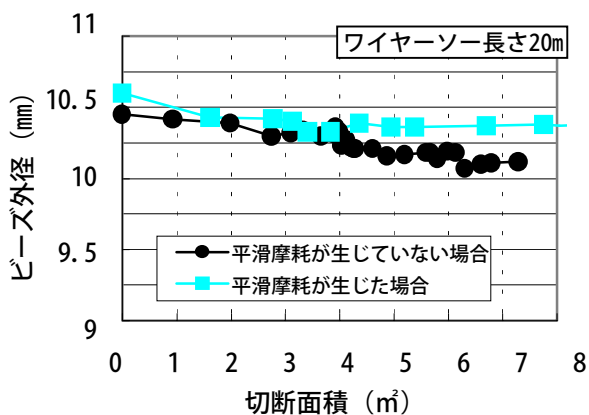


図 - 4.6 ビーズ磨耗量

ビーズは 7.5 m²の切断面積で約 0.3mm 磨耗した (平滑摩擦が生じていない場合)。1mm の磨耗をワイヤーソーの寿命と考えた場合で、ワイヤーソー長さ 20m として、およそ 25 m²の切断が可能と推測できる。一方、平滑摩擦が

生じたピーズは、ほとんど摩擦しなかった。これは、ピーズと切断対象部位の間に発生する摩擦が少なく、ワイヤーソーが切断対象部を空回りしている状態になっていることを示すものである。

4.4 ワイヤーソーの温度変化

張力とワイヤーソー温度の関係を図-4.7に示す。張力65kgfで60～70℃、90kgfで75℃程度であった。参考のため、張力50kgf、100kgf、および冷却水を使用した場合の結果を示す。なお、張力90kgfのデータは、測定器不調のため15分間のデータを示した。

図より、張力が高いほどワイヤーソー温度は上昇する明確な関係が確認できた。何れの張力においても、切断開始後5分程度で温度上昇はとまり、以降は一定の温度となった。ワイヤーソーは100℃程度でも耐久性に問題がないことから、何れの張力でも温度的な問題はないと考えられる。ただし、張力100kgfでは、ワイヤーソーが切断する現象が数回生じ、物理的に問題があった。

冷却水（水温：10℃、使用水量：2ℓ/min）を使用した場合は、張力に係らず温度上昇は約20℃であった。

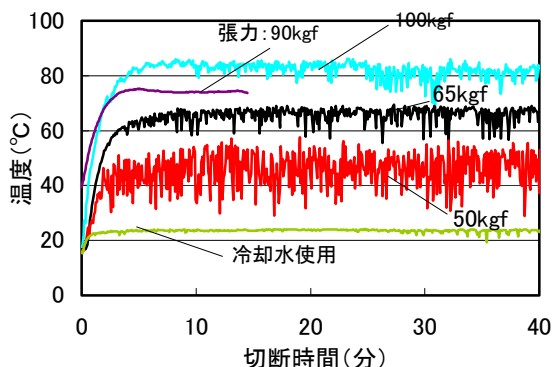


図-4.7 ワイヤーソー温度変化

4.5 騒音測定

図-4.8に音源から30m、および3m離れた地点で測定した中心周波数ごとのA特性補正済み音圧レベル（人間の聴覚に合わせた補正）を示す。

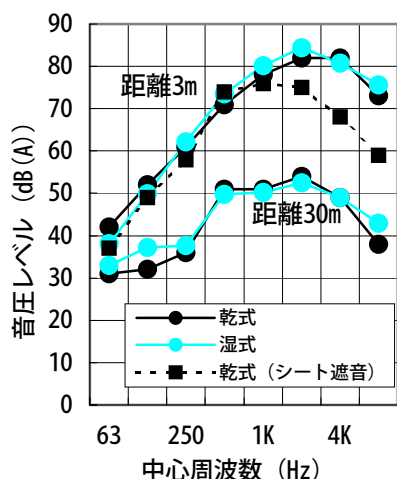


図-4.8 音圧レベルの測定結果

最大音圧レベルは、距離3mで80dB(A)強であった。乾式と湿式切断では、両者に差はなかった。また、シートは高周波数領域での音圧レベルを約10dB低下させる性能が確認できた。

5. まとめ

乾式大断面切断試験を実施し、安定した乾式切断が可能な定量的条件が把握できた。

以下に本試験で得られた結果のまとめを示す。

- ・実用上安定した乾式切断ができる条件として、張力90kgf、ワイヤリング面積6㎡以下という条件が明らかになった（本試験範囲）。
- ・乾式大断面引張り切断の切断能率は、張力90kgfの条件において、ワイヤリング面積4.5㎡で1.2㎡/h、6㎡で1.0㎡/hであった。
- ・切断条件によっては、ピーズに平滑摩擦が生じる可能性があることが明らかになった。
- ・1mmの摩擦をワイヤーソーの寿命とした場合、20mのワイヤーソーで約25㎡切断可能であることが推測できる。
- ・温度上昇は張力と明確な関係があった。乾式切断による温度上昇はワイヤーソーの耐久性に問題のない範囲であった。
- ・切断時の騒音は、乾式と湿式で違いはなく、音源からの距離3mで80dB(A)強であった。また、シートで遮音することにより、高周波数域の音圧レベルを約10dB低下させることができた。

6. おわりに

ワイヤーソー工法の原子力施設解体への適用性をより広げるものとして、大断面乾式引張り切断試験を実施し、切断特性を確認した。その結果、切断条件によっては平滑摩擦が生じ、切断能率が著しく低下する現象が認められたものの、ワイヤリング面積や張力を適切に設定することにより、安定した乾式引張り切断が可能であることが確認できた。

今回の試験により、今後ワイヤーソー工法による原子力施設解体の適用範囲を広げる見通しが得られた。

※1：(財)原子力研究バックエンド推進センター（RANDEC）が科学技術庁（現文部科学省）より受託した「原子炉解体高度化技術開発」の一部であり、RANDECの委託研究として、当社は(株)竹中工務店と共同で実施した。

参考文献

- 1) 宮尾英彦他：「ワイヤーソーによる切断技術の開発(1)～(10)」、原子力学会1993～1999年秋の大会
- 2) 宮尾英彦他：「ワイヤーソーによる切断技術の開発(1),(2)」、RANDEC技報No. 10, No. 20
- 3) 神山他：「ワイヤーソーによる切断技術の開発」、戸田建設技術研究報告vol. 21, 1995
- 4) 稲井他：「ワイヤーソーによる切断技術の開発」、建築学会大会、2001
- 5) 平賀他：「ダイヤモンドワイヤーソーによる鉄筋コンクリート部材の切断性能に関する研究」、建築学会大会、1988