

報告

[1025] 鉄筋の直接通電加熱工法による連壁立坑開口部解体

正会員 笠井 芳夫 (日本大学 生産工学部)
 正会員○中川 和平 (前田建設工業原子力部)
 正会員 西 多 致 (前田建設工業原子力部)
 正会員 菅原 甫 勲 (前田建設工業原子力部)

1. はじめに

鉄筋の直接通電加熱工法は、原子力発電所の廃止措置(デコミッションング)に伴う放射化コンクリートの表層剥離の解体技術として開発されたものである。本工法は種々の解体に利用することができ、特に設計段階で解体が計画されている場合に有効である。その例として、連壁立坑の開口部形成のための部分解体の工事がある。連壁の鉄筋籠を組む段階で、開口部位置に通電用の鉄筋を予め配置し、解体を行う直前に、これらの鉄筋を通電加熱する。その結果、通電鉄筋までの表層剥離が容易となり、解体能率は上り、特に解体に伴う粉塵は少なくなり、作業環境が改善できる。本工法を鉄筋コンクリートの部分解体に適用し、工法として実用化を計るために行った一連の実験(基礎実験、実大実験、施工実験)について報告する。

2. 基礎実験(その1: 通電鉄筋の端部加工の影響)

2.1 実験の目的

実験の目的は、部分解体に対して、施工上考えられる通電鉄筋の端部の加工ケースにより、解体境界付近の母体部に与える熱とひびわれの影響を確認する。

2.2 試験体

試験体は、図-1及び表-1に示すように、開口形成のため解体する連続壁の解体境界部分の配筋を模擬した。各ケースについて2体の試験体を作った。鉄筋はJIS規格品SD35を使用し、主筋

(たて筋)はD32 @125mm、配力筋(よこ筋)はD22 @200mmとした。表-2にコンクリートの調合表、表-3にコンクリートの試験結果を示す。

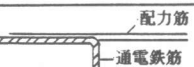
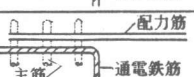

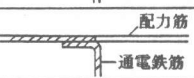
2.3 実験方法

2.3.1 通電要領

発電機より誘導電圧調整器、変圧器を介して、電極端子を図-2に示すように鉄筋に接触させて通電を行った。

2本の通電鉄筋に同時に通電し、電圧を4~7Vに調整して、電流値が4000A(一定)になるようにした。

表-1 試験体仕様表

試験体名	継手長さ	継手方法	状況図
A-1	70cm	重ね継手	
A-2			
B-1	70cm	明き重ね継手	
B-2			
C-1	20cm	溶接継手	
C-2			
D-1	20cm	溶接継手	
D-2			

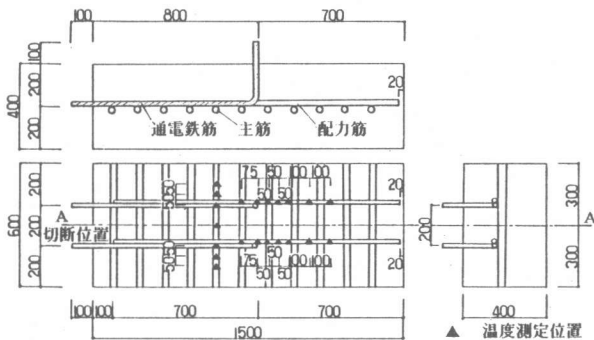


図-1 試験体図

表-2 コンクリート調合表

呼び強度 (kg/cm ²)	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C	S/C	単 位 量 (kg/m ³)				
						水	セメント	粗骨材	細骨材	A 減水剤
350	25	18	4	45	45	185	416	740	935	1.04

表-3 コンクリート試験結果

養生方法	水 中	試験方法
材 令	2.4日	
平均圧縮強度 (kg/cm ²)	3.4.1	JIS A 1108
平均引張強度 (kg/cm ²)	2.3.9	JIS A 1113

通電は、鉄筋温度が 500℃に達するまで行った。

2. 3. 2 温度測定

鉄筋の表層温度を測定するために、C.A. (クロメル・アルメル) 熱電対を鉄筋に穴を明けて埋設した。測定位置を図-1に示す。通電中、磁界の影響を抑制するために、鋼製シールドボックス中に温度記録計を置き、経時記録した。

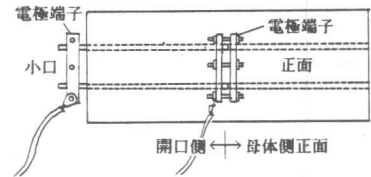


図-2 通電要領

2. 3. 3 ひびわれ測定

コンクリート表面のひびわれは、通電中に経時的に目視で観察し、記録した。コンクリート内部のひびわれは、通電後、2本の通電鉄筋の中央部A-A'に沿って試験体をダイヤモンドカッターで切断して観察し、記録した。

2. 4 実験結果

2. 4. 1 通電加熱

鉄筋の温度は、加工が同じものはほぼ同じ温度分布となった。鉄筋の温度分布を図-3に示す。

この図に示すB-1の明き重ね継手の場合、母体側の鉄筋は通電鉄筋からの熱影響を無視できる。また、残りの

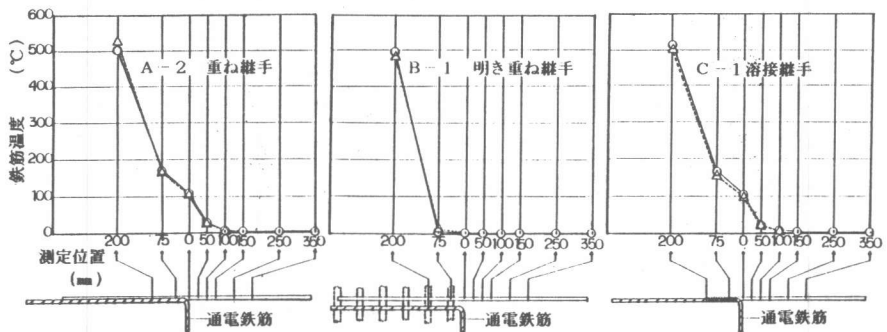


図-3 温度分布図

3ケースでも配力筋について通電鉄筋の端(0の位置)から50mm離れた位置で20~30℃の温度上昇が見られた。更に、100mm離れた位置では熱影響を無視できる(図-3参照)。この傾向は主筋の温度についても同様であり、図-4に示すように、通電鉄筋が約510℃のとき、これに接触する主筋温度は約75℃でこれより50mm離れると約20℃で常温に近い。

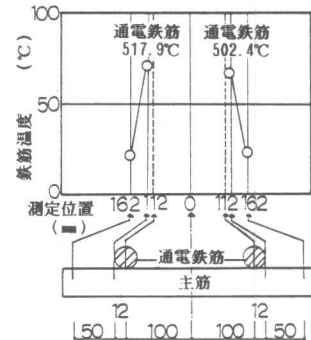


図-4 主筋の温度変化

2. 4. 2 ひびわれ

(1) 表面ひびわれ: 通電開始後、小口の側面では1、2分後に2本の通電鉄筋を結ぶ方向にひびわれが入り、その後、放射状にひびわれが多く発生した。正面側では、同様に通電鉄筋を結ぶ方向にひびわれが入るが、2本の通電鉄筋を中心とする放射状のひびわれはほとんど発生しなかった。また、非通電部(母体部)には全くひびわれは発生しなかった。

(2) 内部ひびわれ: すべての試験体に共通して、ひびわれは通電鉄筋に沿って発生し、非通電の母体側へのひびわれ伸展は通電端に隣接する主筋までである。内部ひびわれの量は試験体間に大きな差が無かった。

3. 基礎実験(その2: 付着強度の劣化)

3. 1 実験の目的

鉄筋の温度上昇に伴って、コンクリートの付着強度の劣化状況を確認することである。

3. 2 試験体

試験体は、表-4に示すように、8段階の加熱温度に対し、たて打ち・よこ打ち各々3体とした。試験体の形状及びコンクリートの打設方向を図-5に示す。試験体は試験直前まで水中養生した。コンクリートの調合を表-2に、その試験結果を表-5に示す。

3. 3 実験方法

電圧値を12V、電流値を1500A一定で通電し、鉄筋温度が表-4に示す温度に達すると同時に切電した。(温度測定の手順は2. 3. 2章に同じ)

3. 4 実験結果

通電完了後、載荷して得られた平均付着強度を図-6に示す。この図から、たて打ちの場合、鉄筋温度が300℃まで殆ど付着強度の変化が無く、300℃を超えると鉄筋周辺のひびわれが大きくなることによって急激に低下している。また、よこ打ちの場合、鉄筋温度の上昇とともに漸減している。この結果から、鉄筋温度が100℃で、付着強度の低下はわずか1.3%であった。なお、スパイラルフープを配置しているため、引抜試験のとき表面にひびわれは発生したが、割れつ分離したものはなかった。

4. 実大実験

4. 1 実験の目的

本工法による連壁立坑の部分解体において、通電鉄筋が多層の場合の母体側コンクリートへの熱影響、通電の有無による解体能率、解体上の問題点等を把握することを目的とした。

4. 2 試験体

試験体は、図-7に示すように厚さ70cmの壁を□形に作り3面それぞれ1か所の開口を設

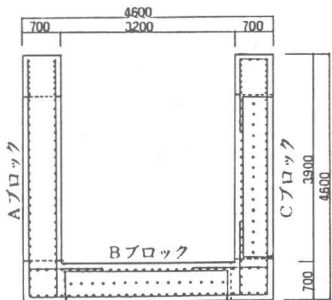


図-7 試験体平面図

表-4 試験体数

温度	常温	75℃	100℃	125℃	150℃	200℃	300℃	400℃	試験体
打設方向									
たて打ち	3	3	3	3	3	3	3	3	48体
よこ打ち	3	3	3	3	3	3	3	3	

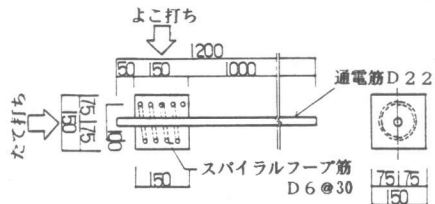


図-5 試験体形状及びコンクリート打設方向

表-5 コンクリート試験結果

養生方法	水 中	試験方法
材 令	28日	
平均圧縮強度 (kg/cm ²)	44.4	JIS A 1108
平均引張強度 (kg/cm ²)	3.5	JIS A 1113

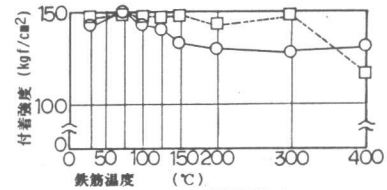
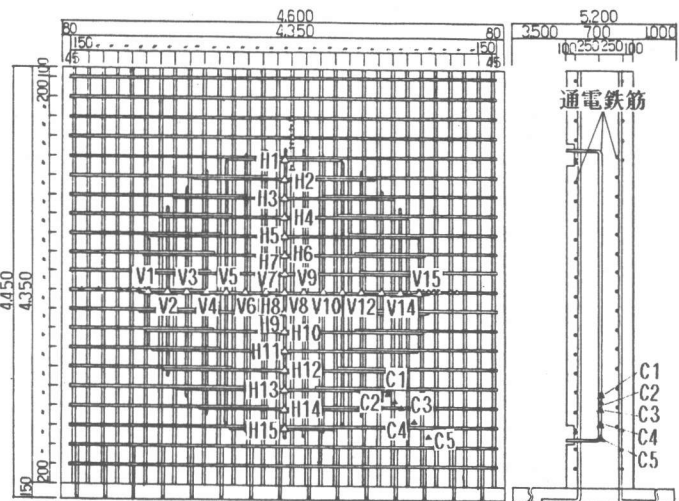


図-6 平均付着強度



△: 温度センサー (鉄筋) ▲: 温度センサー (コンクリート)

図-8 配筋図

けるように計画した。構造用の配筋は3面とも同じにし、縦筋はD32 @150、横筋はD22 @200のダブル配筋とした。A面とB面は通電し、C面は無通電とした。通電鉄筋は図-8に示すように解体部分では横筋を使った。ダブル配筋の中間に縦方向に一層の通電用鉄筋(D22 @200)を予め配筋しておいた。通電部分の露出を容易にするため、通電用鉄筋の両端を折曲げ、先端部分に発泡スチロールをかぶせた。使用したコンクリートの調査を表-6に、その試験結果を表-7に示す。

表-6 コンクリート調査表

呼び強度 kgf/cm ²	粗骨材 最大寸法 mm	スランプ cm	空気量 %	W/C %	S/C %	単 位 量 (kg/m ³)				
						水	セメント	細骨材	粗骨材	A _E 減水剤
350	25	18	4	42.5	41.6	174	409	704	1014	1.022

表-7 コンクリート試験結果

養生方法 材 令	水 中		気 中	試験方法
	7 日	28 日	28 日	
圧縮強度 (kgf/cm ²)	277	384	328	JIS A 1108
引張強度 (kgf/cm ²)	—	29.4	28.2	JIS A 1113 (割裂試験)

4. 3 通電用設備

通電用設備は以下の事項を留意して、工事に開発した。表-8に通電装置の仕様を示す。

表-8 通電設備の仕様

装 置	入出力	相 数	電 圧 (V)	電 流 (A)	周波数 (Hz)
コントローラ (100% 連続定格)	入 力	3相、3線	200	Max 500	50
	出 力	3相、3線	40~400 可変	Max 250	400
トランス (100% 連続定格)	入 力	3相、3線	400	250	400
	出 力	1相 3回路	50/25 Max	1150/2300 相電流	400

- 1) 出力電圧は、施工上の安全を考慮して、最大50Vとする。
- 2) 出力電流は発熱の効率化をねらい、高電流とする。
- 3) 通電作業の効率化のために鉄筋3本同時通電を可能にする。

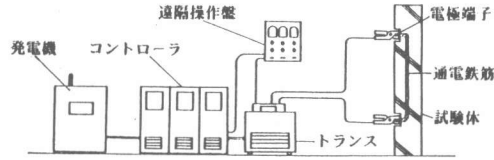


図-9 通電装置

4. 4 通電要領

通電鉄筋の端部にかぶせた発泡スチロールを除去し、次にモルタル等の絶縁物の除去のために通電端部をグラインダー掛けした後、図-9に示す要領で通電作業を行った。鉄筋及びコンクリートの温度は温度センサー(C.A.図-8参照)によって、サーモダックで計測し、それらのデータをパソコンに入力して記録した。同時にディスプレイにそれらの温度を映し出し、温度管理を行った。これらの装置は鋼製シールドボックスを設置して、磁界の影響を抑制した。

4. 5 解体要領

解体は以下に示す要領で行った。解体能率は写真とスケッチによって記録した。

- 1) Aブロック(通電加熱): 2人の研工がハンドブレイカを使って、鉄筋までコンクリートを解体した。露出した鉄筋のガス切断、除去を行った。これらの作業を通電鉄筋の層毎に繰返した
- 2) Bブロック(通電加熱): ジャイアントブレイカ1台と鉄筋切断をする研工1名で、層毎に解体と切断の作業を繰返した。解体境界部分は研工2名で、ハンドブレイカを使って解体した。
- 3) Cブロック(無加熱): 3名の研工で、Aブロックと同じ手順で、層毎に解体と切断の作業を繰返した。

4. 6 実験結果

4. 6. 1 通電加熱

電流値を約1000A一定に通電した。鉄筋温度が400℃に達する時間は通電鉄筋の長さに関係なく約10分であった。一方、電圧値は通電鉄筋が長くなると、20~40Vの範囲で増加した。図-10は、鉄筋通電加熱による母体側コンクリートの温度影響を示している。この図で通電開始時のコンクリート温度(C1~C5)は図-8に示す1層と2層の通電鉄筋の中間に位置する温度であり、既に通電した1層及び2層の通電鉄筋の影響を受けて初期温度より上昇している。この初期温度

は実験開始時に平均11℃である。これらの温度記録はすべて通電が終了後、約1時間継続した。この図から以下のことがわかる。

1) C1は解体境界から内側に100 mmの解体部分にある。最も近接する2層の鉄筋 (V10, V11, V12) から3層の鉄筋 (H13, H14, H15) へ連続して通電したため、C1は最も著しい熱影響を受けているが、初期温度 (11℃) からの上昇は約54℃であった。

2) C2は通電鉄筋から10cm離れた解体境界上に位置し、H13, H14, H15 の通電による温度上昇は無かった

3) C3, C4, C5は母体側に位置し、C2と同様である。

4. 6. 2 解体

表-9に解体結果を示す。通電したAブロック、Bブロックの解体粉塵は通電しないCブロックに比べると非常に少なかった。また、Aブロックのハンドブレイカによる解体能率はCブロックの約 1.6倍であった。以下に各ブロックの解体状態を記す。

1) Aブロック: 1層目のコンクリートは写真-1に示すように大きな平板状の塊で剥がれ、1時間で終了した。残りの2層、3層、4層のコンクリートはCブロックに比べるとはるかに大きな塊で解体できた。しかし、鉄筋除去のための研り及び切断作業の能率はCブロックと同じであった。

2) Bブロック; 1層目はわずか10分で剥がれた。残りの層も非常に短時間で解体した。写真-2に示すように解体破片は大きく、廃棄するためには小割りが必要となるものが生じた。

3) Cブロック; 解体中の粉塵は著しく多かった。解体破片は写真-3に示すように小さく、かつ一様であった。

5. 施工実験

5. 1 工事概要

当工事は、下水道を造る連壁立坑のシールドマシン発進口の開口を形成する工事である。図-11に示すように開口部は直径7.3mであり、地下約20m の位置にある。連壁立坑は壁厚は1.1mで、主筋 (縦筋) D32 @125、配力筋 (横筋) D22 @250 のダブル配筋である。コンクリートの設計強度は350kg/cm²である。開口部は3エレメントにまたがっている。

5. 3 通電鉄筋

通電鉄筋は基本的に図-12に示すように配置し、D22 @250 とした。図-13に示すように通電鉄筋を4層に配筋した。通電鉄筋の本数は189本である。

5. 4 通電装置

通電装置は実大実験に使用したものと同一である (表-8)。装置の配置を図-14に示す。

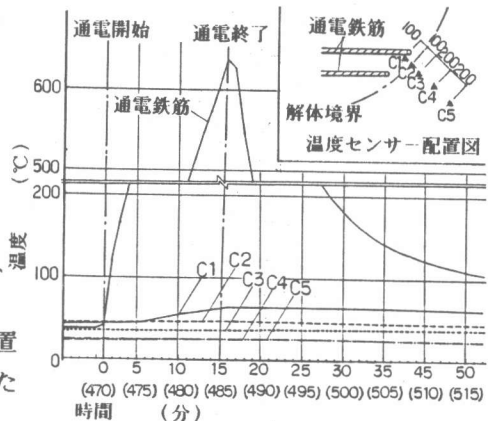


図-10 鉄筋及びコンクリート温度

表-9 解体結果

ブロック	通電日数 (日)	解体日数 (日)	研工人数 (人工)	解体能率 (m ² /人工) or (m ² /台)
A	1	4	9	0.62
B	1	1	2	11.2
C	-	5	14	0.40

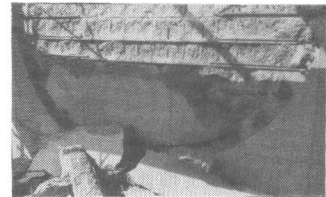


写真-1

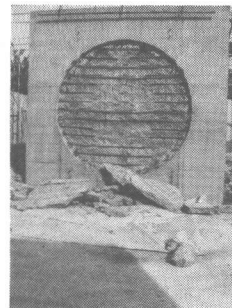


写真-2



写真-3

5.5 施工結果

5.5.1 通電作業

通電作業は騒音を発生しないため、夜間 (PM.8:00 ~ AM 5:00) に行い、日中の立坑内掘削作業の進行に合わせて、上部より行った。通電鉄筋の長さにより、電流値 625 ~ 1450A、電圧値 21 ~ 44Vにて、5夜で189本の鉄筋を通電した。

5.5.2 解体作業

4層までの解体作業はジャイアントブレーカ1台、鉄筋切断

を行う鍛冶工1名、水を散布する土工1名で行った。5層目と解体境界の解体はシールドマシン組立後、ハンドブレーカを使って研工4名で行った。0.7m²のジャイアントブレーカの解体能率は約14m²/日となり、著しい通電の効果が確認できた。解体実績を表-10に示す。

6. まとめ

今回の一連の実験結果から、表層剥離の解体技術として開発された本工法が、連壁立坑開口部の解体のような鉄筋コンクリート構造物の部分解体にも適用でき効果のあることがわかった。

(1) 通電による非解体部への影響について、温度、ひびわれともに特に問題のないことが認められた。すなわち、通電によって起こるコンクリートのひびわれは全通電鉄筋を含む平面上に発生し、コンクリートの母体側には進展しない。またコンクリートおよび鉄筋の温度上昇も極く局所的であり、通電鉄筋から数cm離れると、コンクリートの場合20~30℃、鉄筋の場合40~50℃でかつ温度保持時間は短い。鉄筋コンクリート構造物として特に問題のない温度範囲に収まっている。

(2) 通電後の解体能率は、無通電に比べて、ハンドブレーカの場合約1.5~2倍、ジャイアントブレーカの場合約2.5~3倍の結果が得られた。

(3) 付加的な作業となる通電作業の能率化やハンドブレーカの解体効率をさらに良くするために、種々の改善が必要である。

謝辞：当実験に御指導戴いた日大理工学部川村雅恭教授と、実験に協力して戴いた大和合金機に謝意を表します。

〔参考論文〕1)笠井・秋山：鉄筋の通電加熱によるかぶりコンクリートの剥離解体実験、第5回コンクリート工学年次講演会講演論文、1983、2)笠井・中川・西多・菅原：鉄筋の通電加熱による原子炉RC遮蔽の表層剥離解体実験、第7回コンクリート工学年次講演会講演論文、1985、3)笠井・中川・西多・菅原：鉄筋の通電加熱による半円筒状RC壁の表層剥離解体実験、第8回コンクリート工学年次講演会講演論文、1986

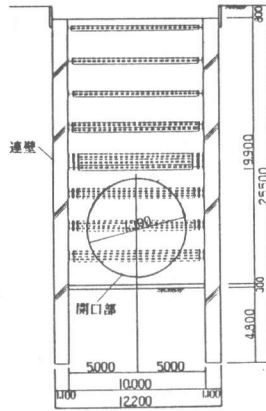


図-11 連壁立坑断面図



図-12 通電鉄筋の配設要領

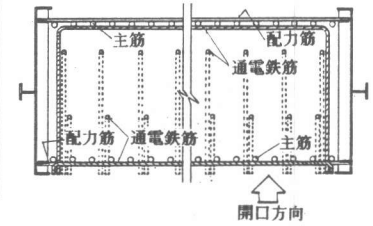


図-13 配筋図

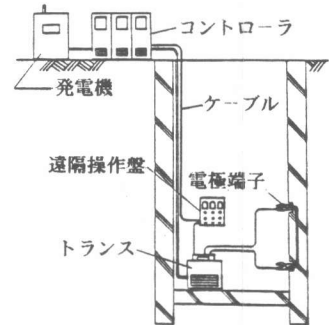


図-14 通電装置

表-10 解体実績

層	厚さ (mm)	解体時間 (分)	解体日数 (日)	解体物運出 (日)	解体数量 (m ³)
1	100	78	3	1	41
2	250	231			
3	400	350			
4	250	217			
5	100	—	2	0.5	5