

[25] 鉄筋の通電加熱によるかぶりコンクリートのはくり解体実験

正会員 ○ 笠井 芳夫 (日本大学 生産工学部)
秋山 信義 (前田建設工業 原子力部)

1 はじめに

鉄筋コンクリート構造物の鉄筋に通電し、抵抗損による発熱と熱膨張により周辺コンクリートの付着力を消滅させ、更にコンクリートにひびわれを発生させることにより、RC構造物の表層剝離解体作業を著しく容易にすることが可能である。笠井は以前にこのテーマに関する実験、研究を行った。^{1)~6)}今回は原子力関連施設・遮蔽コンクリート解体に当り汚染、放射化部分の表層剝離を想定して、約1/2の縮尺平板について実験・考察を行った。

2 実験方法

コンクリート

セメント：普通ポルトランドセメント
細骨材：利根川産 5%以下
粗骨材：田沼産 2.0%以下

表-1 コンクリート配合表

W/C	スラブ %	細骨材率 %	単位水量 Kg/m ³	重 量 Kg/m ³		
				セメント	細骨材	粗骨材
62.4	18±2.5	46.2	186	298	811	956

設計強度：210 kg/cm² (4週水中養生圧縮強度：236 kg/cm²)

鉄筋 JIS規格品 D-16：SD30，およびD-19：SD35

2.1 供試体

供試体を図-1に示す。本剝離解体は所要深さまでブレードカッターにて切溝を入れ、これに電極端子を挿入し切溝面に露出した鉄筋端面を通して鉄筋に通電するものであり、図中の切溝はこれを想定して設けた。現行のBWR原子炉遮蔽コンクリート壁はD-38を用いているが、本計画ではD-16のとき16/38=0.42，D-19のとき19/38=0.5と単純に鉄筋径比に比例して鉄筋間隔及びかぶり厚さ等の寸法を定めた。

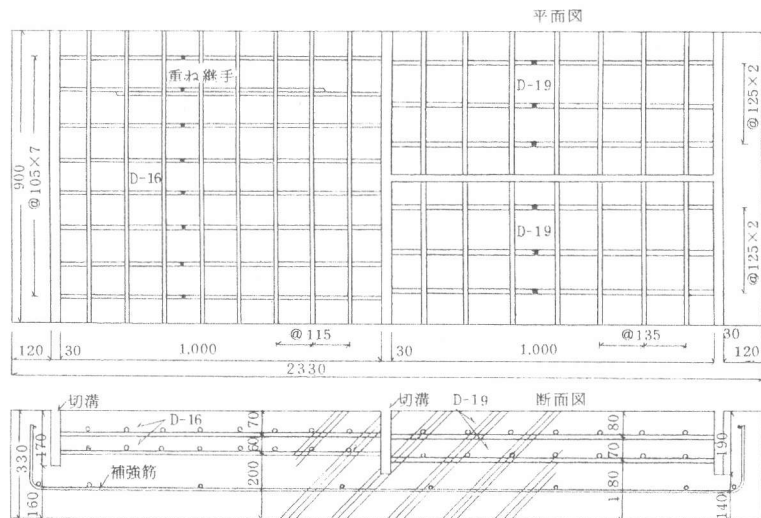


図-1 供試体形状・寸法・配筋図 (・印は熱電対設置箇所)

2.2 通電設備

通電設備を図-2に示す。電極端子は40×250×4%の燐青銅板を一部凸部を設け鉄筋端に接触し易ように加工した。入力は単相交流200V，鉄筋への負荷電圧は3~7V，負荷電流は800~1500Aとした。

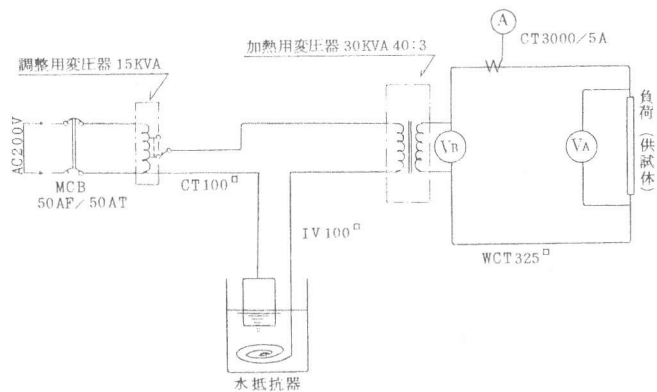


図-2 通電設備結線図

2.3 鉄筋温度の測定

C.A (クロメル・アルメル) 熱電対を鉄筋の所定箇所配置し記録計により経時記録した。

2.4 供試体のひびわれ

表面ひびわれについては発生時に目視記録し、内部ひびわれは通電終了後供試体をカッターにて切断し、ひびわれの発生状況を調べた。

3 実験結果

3.1 通電時間と二次電流・電圧および鉄筋温度の関係

コンクリート中の D-16 および D-19 を通電加熱したときの通電時間、二次電流・電圧および鉄筋温度の関係を図-3 に例示する。

3.2 表面のひびわれ

通電後 2 分位で端部よりひびわれが入り始め（時によりピチピチ音のすることもある）ひびわれの進展と共にひびわれから水蒸気が噴出する。側面のひびわれからも水が浸出する。（写真-6 参照）表面ひびわれは概ね加熱鉄筋に沿って発生するが、鉄筋の軸方向の線膨張と共に両端附近には直角方向のひびわれが生ずる。鉄筋の軸方向の膨張により鉄筋端は両端共コンクリート面より 2~3 mm 突出するが、通電を停止すると鉄筋は収縮し数分でコンクリート端面より引込んだ位置まで戻った。重ね継手筋の部分は僅かに電流を通ずるが、発熱には至らない。表面ひびわれの状況を図-4 および写真-1 に示す。

3.3 表層剝離解体

鉄筋間のひびわれが連結することが推定されたので、格子状鉄筋を版に対し垂直にはがし、被覆コンクリートと共に層状に剝離する実験を行った。方法として供試体の鉄筋端部を研り出し、端部より約 10 cm の所をレバーブロックで引上げた。引上げ荷重約 700 kg で鉄筋面位置で容易に剝離させることができた。状況を写真-2~写真-3 に示す。鉄筋とコンクリートは完全に付着が切れた状態であり、鉄筋間のひびわれが連結していることがうかがえた。剝離した部分を約 1 m の高さから自由落下させたが、塊状に破碎し微細片は少なかった。更に二段目筋についても同様の工程で容易に剝離することができた。剝離完了後の状況を写真-4 に示す。

3.4 内部のひびわれの発生

既往の実験研究⁵⁾により丸鋼の場合鉄筋間隔 10 D 以下のときはひびわれが連結することが分っていた。今回の実験では異形鉄筋を使用し、かつ鉄筋間隔を約 5.6 D としている。実験後供試体をカッターで切断し調査したところ、通電不能であった重ね継手部をもつ鉄筋を除いて、鉄筋間を連結するひびわれが全箇所発生していた。切断面の状況を写真-5 に示す。

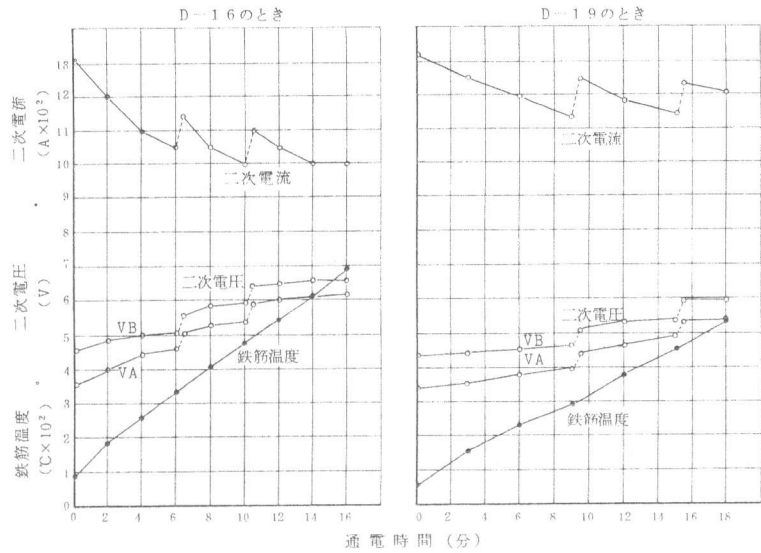


図-3 通电時間・電流と鉄筋温度の関係

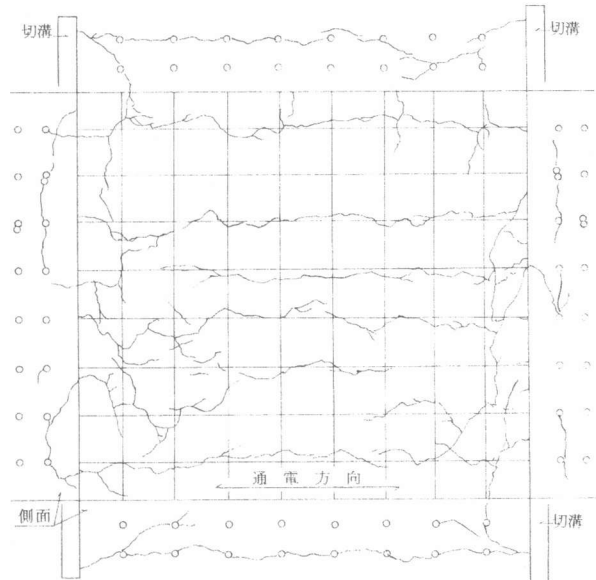


図-4 表面及側面に発生したひびわれ

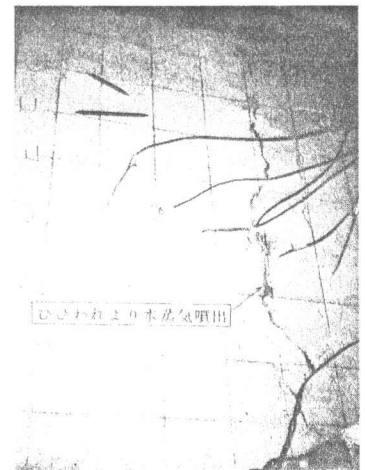


写真-1 ひびわれ発生状況

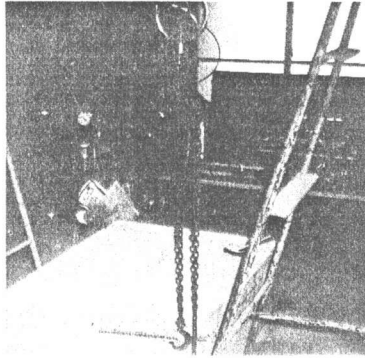


写真-2 鉄筋引上の状況



写真-3 剝離状況

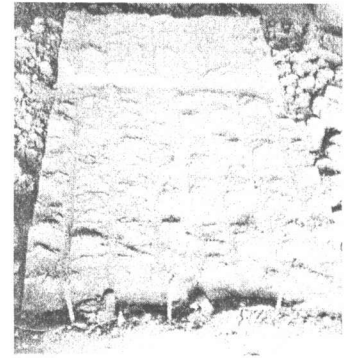


写真-4 剝離完了

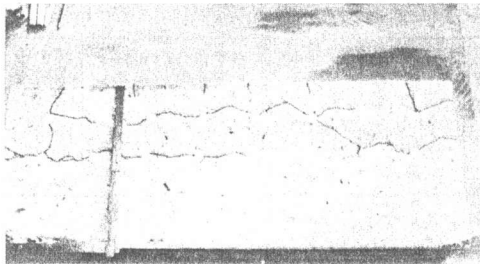


写真-5 切断面の内部ひびわれ状況



写真-6 側面ひびわれより水の浸出

4 鉄筋の通電加熱によるコンクリートひびわれの発生に関する考察

鉄筋に通電すると電気抵抗により発熱する。その結果鉄筋温度が上昇し温度に対応した膨張量を示す。この膨張によりコンクリートにひびわれを発生する。ひびわれは図-4に示すように①通電した鉄筋の長さ方向に沿ってコンクリートの表面に現われるものと、②鉄筋の長さ方向に直交するようにある程度の間隔を置いて（多くは加熱した鉄筋に対し直交する配筋に沿って）発生するものと、③版に平行して配置した2本の鉄筋間を結ぶようにコンクリート内部にひびわれを発生するものとある。本実験においては、①、②のようなひびわれの発生は多い程良いが、主目的は加熱後格子状鉄筋をひきはがすように引張って、かぶりコンクリートを剝離することである。そのためには③のひびわれが最も重要である。以下③のひびわれ発生について若干考察してみたい。

鉄筋の熱膨張をコンクリートが拘束することによって発生する引張力については、最も良く知られた式として厚肉円筒（内径 r_1 、外径 r_2 ）に内圧 σ_s が働いた場合、円筒の中心から r なる点の円周方向の引張力 σ_r を求める式がある。この式は弾性体について導かれたものであるが、一応の目安としてこの式により検討する。

$$\sigma_r = \frac{\sigma_s r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(\frac{r_2^2}{r^2} + 1 \right) \quad (1)$$

最大引張力は $r = r_1$ とおき、鉄筋間の熱膨張量を完全拘束したとき発生する応力を $R\sigma_s = 1 \times \sigma_s$ （ R は拘束率）、2鉄筋間の中心距離を ℓ とおくと、 $r_2 = \ell - r_1$ となり、求めることができる。最小引張力は $r = r_2$ とおき、同様にして求めることができる。

2鉄筋間のコンクリートに発生する平均引張力は

$$\bar{\sigma} = \frac{2 \int_{r_1}^{\ell - r_1} \sigma_s dr}{\ell - 2r_1} = \frac{2}{\ell - 2r_1} \int_{r_1}^{\ell - r_1} \frac{\sigma_s r_1^2}{(\ell - r_1)^2 - r_1^2} \left\{ \frac{(\ell - r_1)^2}{r^2} + 1 \right\} dr \quad (2.1)$$

$$= \frac{2 \sigma_s r_1}{\ell - 2r_1} \quad (2.2)$$

2本の鉄筋を同時に加熱したときの2鉄筋間のコンクリートに発生する平均引張応力 $\bar{\sigma}$ は(2.1)式を積分して(2.2)式が得られる。さて、これらの式において、 σ_s は鉄筋の熱膨張ひずみを拘束した結果発生するもの

で、この値を加熱温度と膨張量との関係、及び、温度と鋼材のヤング係数との関係から求めると、図-5のようである。この図において拘束率Rは鉄筋の熱膨張が完全に拘束された場合1.0をとり、無拘束の場合0となる。(2.2)式により求めたコンクリートの引張応力度その他を100℃毎に表示すれば表-2のようである。

R=1.0と仮定すれば、100℃程度の温度でも容易に引張破壊を生ぜしめることになる。実際には鉄筋周辺の局部的破壊、コンクリートの引張ひずみ(最大: 2×10^{-4} 程度)、コンクリートの引張クリープ、鉄筋表面へ達するひびわれ(主として前述①のひびわれ)などから膨張応力は大半に緩和され、温度400℃前後で③のひびわれが入るものようである。コンクリートの圧縮強度は23.6 kg/cm²であるから引張強度を約 $\frac{1}{10}$ とすると約0.25 kg/cm²となり、拘束率Rは極めて小さい値となる。実際の原子炉の例ではD=3.8 mm程度の鉄筋を約250 mmピッチで配置しているが、このような場合でも鉄筋の通電加熱により平行する2鉄筋間にひびわれを入れることができるものと推察される。

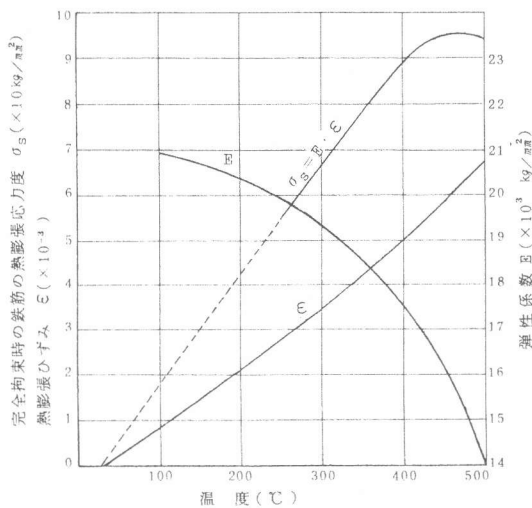


図-5 鉄筋の温度と ϵ , E , σ_s との関係
(図中の ϵ は原田有著:建築耐火構法,工業調査会より, E は三島良績著:金属材料概論,日刊工業新聞社より)

表-2 鉄筋温度とコンクリートの平均引張応力度

鉄筋の上昇温度 t	鉄筋の熱膨張ひずみ $\epsilon (\times 10^{-4})$	ヤング係数 $E (\times 10^3 \text{ kg/cm}^2)$	R=1.0の場合の熱膨張応力度 $\sigma_s (\times 10 \text{ kg/cm}^2)$	コンクリート平均引張応力度(R=1.0) $\bar{\sigma} (\text{ kg/cm}^2)$
100	0.84	20.8	1.75	3.2
200	2.10	20.4	4.28	7.7
300	3.45	19.4	6.71	12.1
400	5.05	17.5	8.84	15.9
500	6.72	14.0	9.40	16.9

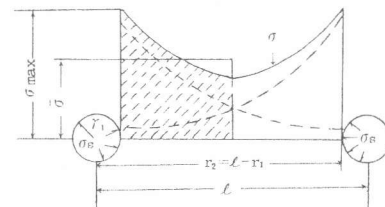


図-6 2鉄筋間の応力分布と平均応力

5 まとめ

1) 鉄筋コンクリート構造物において表層コンクリートを格子状鉄筋面にて、鉄筋と共に版状に剝離することが可能である。破碎コンクリートは塊状となり微細片は少なく、粉塵の発生も少ないことは放射化又は放射汚染物の処理に有利である。又騒音はカッター使用時以外は僅かであり、衝撃、振動も殆ど皆無である。

2) 鉄筋径、鉄筋間隔、コンクリートのかぶり厚さ、鉄筋の加熱温度、通電時間などの関連実験及研究を進める必要がある。例えば通電設備容量を大にして、急速に鉄筋を加熱するとか、複数鉄筋を同時加熱すれば、ひびわれ発生はより効果的である。

3) 電極端子がポイントとなるが、高温に対する耐久性、酸化被膜の発生への対応等、材質及び機構開発の必要がある。これらはすべて遠隔操作の要があり、放射性廃棄物の処理を含めたトータルシステムを開発中である。

(参考論文)

- 1) 笠井・川村:鉄筋の電気的加熱によるコンクリートの取りこわしに関する研究,建築学会関東支部第36回研究発表,1965年6月,
- 2) 同上第2報,建築学会関東支部第37回研究発表,昭和41年,
- 3) 同上第3報,建築学会論文報告集号外,昭和41年10月,
- 4) 同上第4報,日大生産工学部学術講演会,1967-1,
- 5) 同上第5報及,
- 6) 第6報,建築学会関東支部第38回研究発表,昭和42年,