

## ◀ 資 料 ▶

### X線によるコンクリートの試験

正員 工学博士 成岡昌夫\*

角谷保\*\*

X線による応力測定は、各種の応力測定法のうちでも有力な手段として、主として機械工学の方面で用いられている。土木工学の方面へは溶接部の非破壊検査に使われている程度で、他に応用されていないようである。筆者は G. Rinaldi 教授（ローマ市特別公共事業局長）の好意により、教授の研究論文2編を送ってもらい、これを訳したので、ここにその概要を紹介したいと思う。参考文献は次の3つである。

a) «Misura delle tensioni, a mezzo dell' introspezione radiografica, in sezioni di travi in cemento armato normale e precompresso»  
Gionalle del Genio Civile, 92, 638, 1954.

b) «Introspezione radiografica dei calcestruzzi per l'esame di strutture in cemento armato normale e precompresso» febbraio 1954.

c) "Beton und Stahlbetonbau" 49, 88, 1954.

（これは上記2編の独訳紹介である）

G. Rinaldi は、microdensitometer などについては、ボロニヤ大学化学研究所および天文学研究所に、Radio-graph については医学方面に連絡して、コンクリート、鉄筋コンクリート、PS コンクリートの品質や、内部応力などの測定を行ったものである。

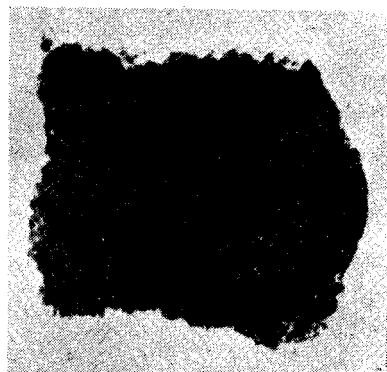
輻射線には X-ray を用い、大体 90 kV で 10 mA までを使用している。吸収については、Benoist の法則を近似的に当てはめて、 $P \sim N^1 \cdot d \cdot s \cdot \lambda^3$  としている。ただし、 $P$  は通過物質の吸収力、 $N$  は原子番号、 $d$  は密度、 $s$  は厚み、 $\lambda$  は X-ray の波長である。microdensitometer などは、天文台などでスペクトル分析に用いるものを、そのまま用いている。

適当な電圧、電流、照射時間によつて、写真-1 のような写真が得られるわけであるが、モルタル中のいろいろな骨材などが区別されて、複雑な明暗が現われている。back scatter がある場合は、それが第1次の X-ray と重つて映る。一般に乾板は、試料の裏に密着させ、source からの距離を長くするほど、像が鋭明になる。方向をいろいろ変えて、試料に当てることにより、立体的な radiograph が得られる。また、

\* 京都大学工学研究所

\*\* 同上

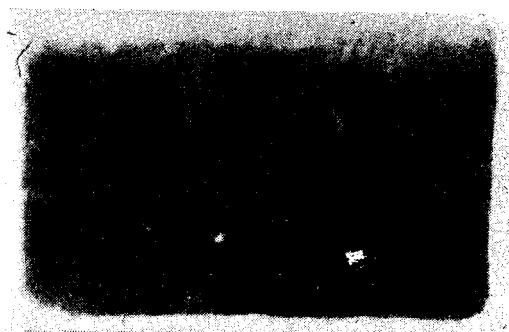
写真-1



均衡状態の変化を時間的に写真に連続してとると、動的な観察を行うことができる。

まず質的な検査としては、コンクリートの打継目、クラック、凹みなどコンクリート打ちの欠陥や、故意に（鉄筋、ピアノ線）あるいは偶然に（有害な無関係な物体）コンクリート中に入った物体の位置や大きさ、または、鉄筋とコンクリート間の接着の欠陥などを指摘することができる。たとえば 写真-2 のように、振動締め過剰による分離状況がよくわかる。

写真-2



また内部状態の変化を検査するために、載荷前後の2つの X-ray 像を比較した。写真-3, 4 に示すように、2つの像は、骨材相互間の位置の変化を  $x, y$  軸をとつて、 $\sqrt{(x+dx)^2 + (y+dy)^2} - \sqrt{x^2 + y^2}$  で調べ、骨組として働らくペーストの部分は、像の濃淡の変化を micro-densitometer で測る。I 型バリについて、

写真-3

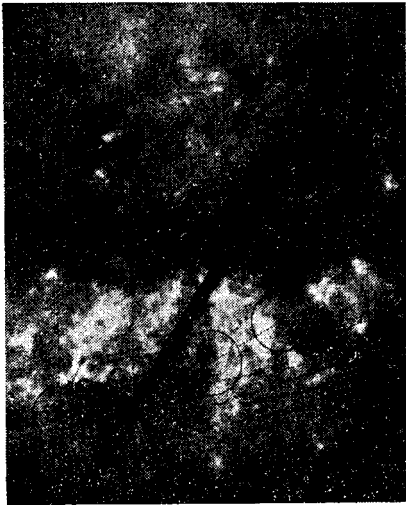


写真-4

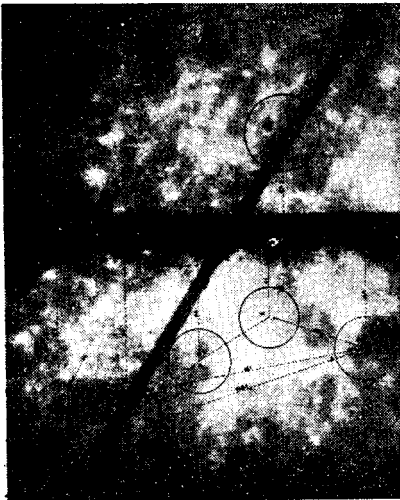


写真-5

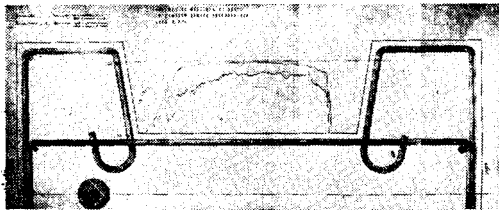
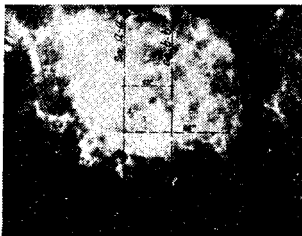


写真-6



載荷時との photometry 差の一例を写真-5で示す。

一例として G. Rinaldi の行つた測定例を挙げて見ると、 $15 \times 10 \times 100$  cm 矩形断面のハリで、鉄筋は  $1-\phi 14$  mm を用い、 $A_s = 1.11$  cm<sup>2</sup>、両端単純支持、スパン 100 cm とした。写真-6 は無載荷

写真-7

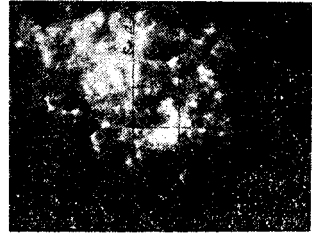


写真-8

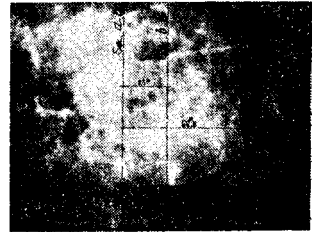
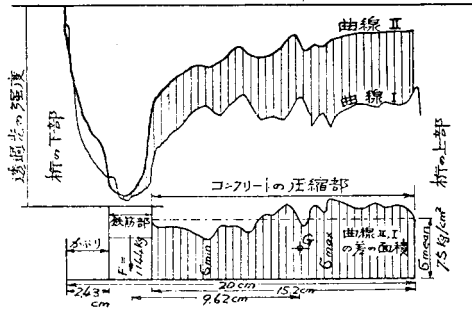


写真-7 は  $P = 528$  kg、写真-8 は  $P = 844$  kg、いずれも  $1/2$  点に集中荷重を載荷した場合の X 線写真を示す。X-ray 装置の方は、電圧 85 kV、電流 10 mA、照射 8 秒、focus distance  $D = 50$  cm で、ハリの中央断面を透写している。ただし図でわかるようにあらかじめ鉄筋に凸部を付しておく。右下隅の角度が  $86^\circ \rightarrow 85^\circ 30' \rightarrow 85^\circ$  と変化し、おのおの相互間の位置も  $66$  mm  $\rightarrow$   $66.5$  mm  $\rightarrow$   $66.8$  mm と移っている。このハリは、 $P = 844$  kg で  $1/2$  点のたわみは  $1.2$  mm であり、 $3168$  kg で破壊されている。同様なことが PS コンクリートについても実測されている。

また、photometry の実例として、例えば、前記と同じ鉄筋コンクリートバリエで、 $1/4$  点にそれぞれ荷重  $P = 450$  kg を掛けて、その前後の光度変化を調べている。図-1 に示すように、ハリ中点における 2 つの状態における X-ray 透過写真乾板を、上下方向に沿つて microdensitometer で曲線を描き、その縦座標の補正を行つた上で、2 つの曲線の差を図に求める。図-1 の横軸は、左が下側、右が上側であり、縦座標は強度を示す。左の凹みは鉄筋部分である。図でわかるように、ハリの上部、鉄筋までの間はすべて圧縮されており、鉄筋より下のかぶりは引張りになっている。 $P = 450$  kg のときの  $1/2$  点の曲げモーメントは  $11000$  kg $\cdot$ cm である。いま、下図(面積差)の重心を G とし、鉄筋の中点との距離を測ると  $9.62$  cm であるから、鉄筋の平均引張力  $T = 11000/9.62 = 1144$  kg、鉄筋の断面積は  $1.11$  cm<sup>2</sup> であるから、引張応力度は、 $\sigma_s = 1144/1.11 = 1035$  kg/cm<sup>2</sup> となる。

コンクリートの上部より鉄筋までの長さは  $15.2$  cm、厚みは  $10$  cm であるから、コンクリートの平均圧縮

図-1



応力度は  $\sigma_{c, \text{mean}} = 1144/15.2 \times 10 = 7.5 \text{ kg/cm}^2$  となる。

いま、下の面積差をあらわす図の平均値を画くと、その縦座標は、すなわちこの  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  に当るから、再び、この scale によりもとの面積差の図の最大、最小を測定すれば、 $\sigma_{\text{max}} = 9.8 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_{\text{min}} = 4.9 \text{ kg/cm}^2$  が読み取られる。

(図-1 にみられるように、桁の上端から鉄筋中心まですべて圧縮部分となつているのは、疑問があるが、そのまま訳した)

G. Rinaldi は、また同様のことを、断面を変えたり、PS コンクリートを用いたりして実験している。なお、最近筆者の手元に来た手紙では、実際構造物への応用もすでに二、三行つているようである。

以上が、これらの論文の要旨であるが、G. Rinaldi のとつた方法や測定などについては、いろいろな問題点が残されているように思われる。すぐ気づくことであるが、前へのべた鉄筋間の角度が、あれほど大きな変化を見せるはずがないことは、常識で判断しうる。

また、X線の吸収は、外側の電子に関係するから、少々のひずみでは、いかに microdensitometer を使用しても、図に示されているような光度差は出ないと考えられる。それにもかかわらず一応のデータが出ていることは理論的にも研究の余地があるように思われる。また、ひずみと応力とが一次関係にあると仮定している点や、ひずみと光度とが比例しているという考え方は、もう少し基礎的なデータが揃わないと誤差を大きくするおそれがあるように思う。

また、X-ray の強度は中央が一番大きいから、乾板の濃さも、それを考慮すべきであり、図-1 で見られるように、鉄筋部の凹みも、右側の方が少し戻つてはいるが、これは Compton 散乱や photoelectric effect を考慮して補正すべきである。また、ハリの両端も同様の理由で scattered quanta が少いはずである。また、2つの状態の X-ray radiograph image をとる場合、同じ照射時間でも、X-ray の強度などに fluctuation があるから、それらは比較物質で補正せねばならない。これらの欠点を除くには、ベータートロンほどでなくても、100 万 V ぐらいの X-ray を通すか、または近時入手しやすくなつた放射性同位元素を用いて、それから出る  $\gamma$ -ray を用いればよいと思われる。また、W. Holschmidt, Bauing. 15 (1935) S. 363 のように、配合比を調べるにも、 $\gamma$ -ray の方が好都合であると思われるが、流量が多いと危険であるのが欠点であろう。

とにかく、コンクリートを透明体として扱えるようになったのは、コンクリートの非破壊試験に対して、新しい一つの方法を提供したものと云えよう。

## 矢板岸壁及びドルフィンと

### 橋脚等の根入深さ算定公式

正員 工学博士 岡部 三郎\*

#### 1. 緒言

矢板岸壁の安定は地質の良否に支配せられるもので特に根入部の地質いかんは、岸壁の安定に致命的の影響力を有するものであるから、良好な地盤を選定することが何より肝要である。もし上部地質が不良でも下の方に良質地盤があるときは経済的に許すかぎりそこまで矢板を打ち込むことが望ましい。

しかし必ずしも良好でない地盤にも矢板岸壁を築造

\* 東亜港湾工業 KK 社長

する必要がある場合が相等多いものである。かかる際にも安心のできる根入の深さを算定することは絶対に必要なことである。

やや地盤が不良と思われる場合は地盤を改良するかまたは単純な矢板岸壁の代りに棚式岸壁のような裏面の土圧を軽減する工法を採用すると同時に矢板や杭の下の方で裏込土砂の重量によつて全体が滑り出さないように総体的の滑り面における安定計算をする必要のあることは重力岸壁の場合と同様である。