

土木工學に於ける X 線の應用 (6)

島 田 八 郎

本篇のみの目次：Ⅷ 章 特殊形状を有する供試體の透過試験

- (1) 節 序 説 [2] 節 鋼丸棒、鋼索等の透過試験並に X 線強度差異緩和法に就て
- Ⅷ 章 コンクリートの石材、瀝青、木材等の透過試験
- [2] 節 序 説 [2] 節 透過試験に於ける散亂線遮断法
- [3] 節 コンクリート透過試験 [4] 節 木材瀝青透過試験

Ⅷ 章 特殊形状を有する供試體の透過試験

〔1〕序 説 既に屢々記述せし如く X 線透過試験は常に供試體を透過する各部 X 線の強度の差異により判別するものである。然るに第Ⅷ章〔5〕節の寫真作用に及ぼす影響の頭に於ける第55圖(a)により明かなる如く乾板黒さは或る一定の放射線以上に對しては一定となり、供試體各部の透過 X 線の強度を示さない、即ち最大黒さ $S=3$ 以上は實用上一定の黒さと考へてよい、其の上第Ⅷ章〔3〕節に黒さ S に於ける吾人の黒さ判別能力 ΔS と S との關係即ち $\frac{\Delta S}{S} \times 100 \sim S$ の關係によるも $S=2$ 以上に至れば可成り判別能力は著しく減少して来る。茲に於て X 線透過試験に於ては地の黒さ S_m (體積の平均) と缺陷を判別せんとする部分の黒さ (S') の調節を適當にする必要がある事が分る。即ち

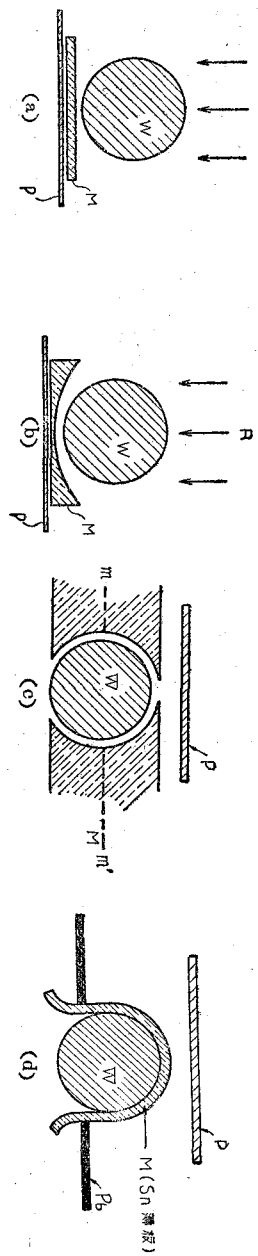
S_m , …… と $S_r \sim S_{im} = 2S$ …… の相互關係が適當なる様其の都度工夫を要するものである。第Ⅶ章電弧熔接の應用編説明圖に屢々棒形金屬片を用ひ X 線投射面内の供試體厚み差の著しきものを緩和せんと試みてある (例へば第 41 圖 F) のは全く上記の理由によるものである。斯かる實例餘多あるも鐵筋用丸棒、鋼索等は其の最も卑近なものである。次節に斯かる種類の供試體 X 透線透過試験に於て常に行れてゐる方法の原理を簡單に記述す實際に於ては供試體に應じて適宜工夫を加ふればよい。

〔2〕節 鋼丸棒、鋼索等の透過試験並に X 線強度差異緩和法に就て 鋼丸棒の如く圓形斷面を有するものが乾板上に置かれ X 線が其の上部より投射される場合を想像するに中心部を透過する X 線は圓周部並に供試體以外の部分を透過するものに比較し直徑に應じた著しい吸収を受ける。従つて他の部分と供試體中央部の乾板黒き S の差異は著く大となり缺陷の判別は勿論單に鋼丸棒の外部形状すら供試體以外の部の遮しき感尤の爲め判別し得ず X 線透過試験は全く失敗に終る。斯かる障害を除く爲め先づ第 1 に供試體以外を透過し来る線の強度を著しく減少せしむる事が必要となる。且つ、中心部透過線との差異が最も感度よき黒さ範圍になる様に調節する必要がある。緩和用材は斯かる目的に使用するものである。従つて鋼丸棒を例にとれば直徑の大小により緩和用材の厚み等が變つて来る、先づ最も一般の場合を述べるに通常下記の方法が行はれてゐる。

(1) 重金屬又は金屬緩和材使用法

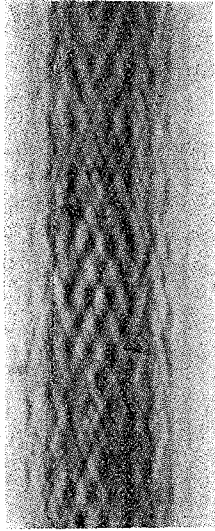
(2) 溶液漬水法

の二法に大別し得。

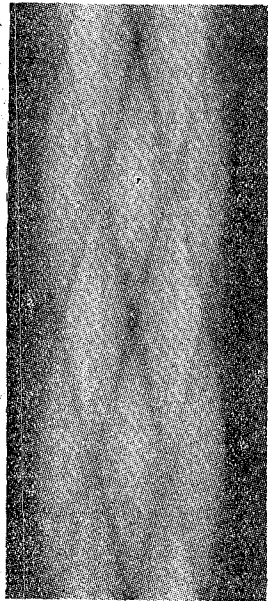


第 56 圖 X線透過試験に於ける緩和材使用状況を示す

(1) の金属緩和材使用法は後節述べる上記の目的以外の散乱 X線遮断法にも採用される重要なものである。第56圖 (a) (b) (c) (d) は金属緩和材使用に於ける供試體 (W) 金属緩和材 (M)、寫真乾板、P と X線投射方向 (R) との相互關係を示すものである。W は鋼丸棒又は鋼索等を示すもので M としては比較的 X線の吸収率の大なる原子量大なる物質を使用する事が望ましい。通常錫 (Sn) 又は鉛 (Pb)、供試體の材質により銅 (Cu) が用ひられる。錫、鉛は自由に屈曲し得るから特別な場所にも用ひられる。第56圖 (a) の場合は最も簡単に版状として供試體の下に敷くべきもので直径小なる丸棒の如き時は之れにて充分なれども (b) 圖の如く供試體圓形に應じた曲率を有す断面を持つ金属板 (M) を使用すると其の効果が大きいである。(c) 圖は更に好結果を得んとしして試みたもので略々供試體を包み M の材質も X線的に供試體に近きものを使用す。即ち、X線透過的には一様な厚みを有す供試體の如く取扱ふ事が出来る。(d) 圖は錫の薄板を屈曲し使用せる場合である。上記の方法は Berthold, Glockner 等により始められ種々考察され今日に至つたものである。第57圖 (a) (b) は直径 50 mm 程度の鋼索に於ける X線透過寫真を示すもので、(a) 圖は第56圖 (c) の如き緩和材を



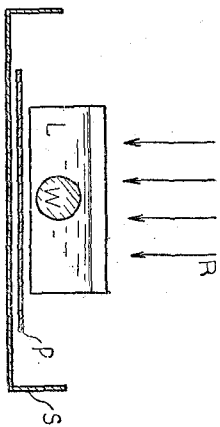
(a)



(b)

第 57 圖 鋼索、X線透過寫真と緩和材使用の影響を示す (a)：包被緩和片使用 (b)：単一緩和片使用
 使用せし場合に於て素線の瑕が二ヶ所明かに判別し得るもので、素線が一本と明かに顯れてゐる。缺陷判別度が可成り良好
 の場合である。然るに第 57 圖 (b) は第 56 圖 (a) の如く單一厚み
 の鉛板を敷しきのみにて、擦りの方は明かに判定し得るも各素線の
 判別は明瞭でない。若し緩和材を使用せず X線透過試験を試みれば
 全く失敗に終る。

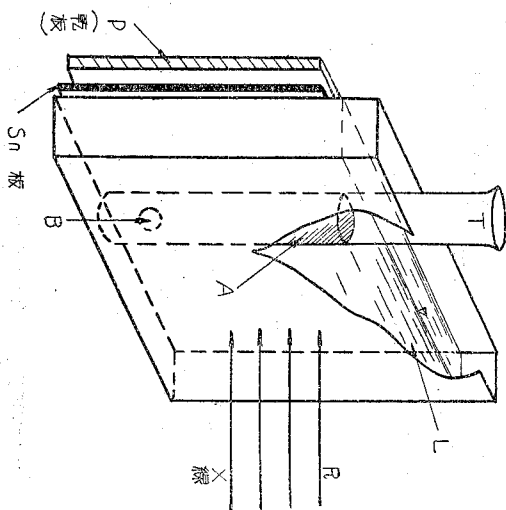
(2) の溶液漬水法は供試體材質と單位長さ當りの X線吸収係同
 じ程度の溶液を使用するもので第 58 圖は其の一例を示す。L は溶
 液は供試體である。P は乾板 S は外部より來る散亂 X線の影響



第 58 圖 溶液漬水緩和法を示す

を遮断せるものである。斯くの如き配置により供試體は一樣の厚みを有するものゝ如き性状を示す。Wの断面が可成り不規則なものにても緩和材が液體なる爲め緩和作用を有効に利用し得、但し各實驗毎に供試體を液體に漬け實驗後は更に清淨に洗滌せねばならず操作が繁雜となるは勿論使用溶液によつては供試體の表面が侵蝕される。其の際一旦パライフィンにて表面を包裹する必要がある。

鋼材のみならず試験管内に封入せるアスファルト等の内部の状況を見る場合に試験管を溶液を入れたる容器内に入れ、X線透過試験を行ふべきで第59圖は其の配置の一例を示す。Tはアスファルトの入れる試験管、Aはアスファルト、Bは其の内部にある鋼球である。緒言第2圖に示した寫眞は斯くして得たものである。斯くの如く液體漬水法は可成り有効な方法である。此方法は Pilon, Laborde が始め其の後 Glockner, Regler 等により研究されたもので供試體の材質種類により溶解劑の種類及び濃度を變ずる必要ありとも一例を擧れば下記の如きものとされてゐる。



第 59 圖

供試體材質	Alに對し	BaCl ₂	35 gr	を 100 cm ³ の水に溶解す
Fe "		BaI ₂	150 gr	"
		SnCl ₂		飽和に近き溶液を作る

Fe 材に對し Ba I₂ 溶液が適してゐるが高價なる爲め Sn Cl₂ 溶液が使用される此溶液は非常に還元性大であるから實驗中は寫眞現象等の取扱ひ人は全く別の者を使用する様操作に注意が必要がある。

以上の原理により丸棒鋼網の外、鎖其の他複雑な形状を有する供試體の X 線透過試験を行ひ得る事を知るも實際上内部に存在せる微細な缺陷等を判別するは現在では非常に困難な事が分る。

Ⅲ 章 コンクリート、石材、瀝青、木材等の透過試験

〔1〕序 説 コンクリート、石材、木材、瀝青等の成分は主に佳炭、アルミニウム、炭素、酸素、アルカリ及びアルカリ土屬である。従つて一般に原子番号低く X 線の實吸收率 (τ) も小である。其れ故 X 線透過試験を行ふに同一管球電壓、管球電流に對し供試體の透過厚みは著しく大となり、實驗も容易ならんと想像されるが、W 章〔4〕節にも述べし散亂係數 (σ) が實吸收係數 (τ) と同じ程度の値を示す。従つて、供試體を透過せし X 線強度分布には散亂 X 線、實吸收を受けし X 線の兩者の影響が混入し寫眞乾板上に於ける黒さ分布よりは實吸收を受けし X 線部分のみの強度分布を判定する事の不可能の場合が多い。第 V 章に鐵鋼の場合の X 線投射面積の大小の寫眞乾板黒さに及ぶ影響に就て述べしものと全く同一作用による。茲に云ふ第Ⅲ章の材料は總て散亂 X 線の影響を著しく示すもので、其の爲め最小可視差異が著しく減少するものである。厚み 50 mm の鐵板、管球、電壓、180 kv にて實驗せる結果によるも、散亂 X 線は投射力向の X 線より強度が大となる。コンクリート等に於ては散亂 X 線の大きさが鐵の場合に比較し 20~30 倍も大きい。如何に其の影響の甚大なるかを推測し得。第 60 圖は最小可視差異と散亂 X 線の分量との關係を示すもので散亂線を除かない

(c) の場合は透過試験者しく不良なる事を示す。乾板に増強板使用せず、且つ散乱線吸収せる場合は最も効果よき事を示す(d)。

斯くの如く透過試験に於ては其の影響を除く様工夫する事が必要である。コンクリート等に於ては斯かる散乱線の影響の外材質の状態が材齢及び大氣の状態により著しく變る、例へば含水量が常に變る。金属材料の如き的確な實驗が行えず、且コンクリートに於ては水/セメント比で空隙率著しく異り X線透過上より材質の著しく異なるものとなる。未だ上記の材料に関する研究少く一般的性状が明かでないが、二、三之等に關する主要な結果を述べる。

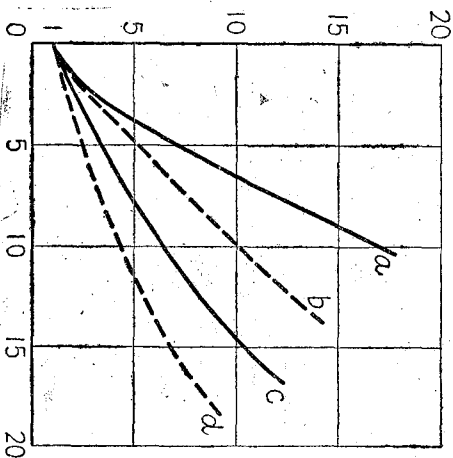
〔2〕節 透過試験に於ける散乱 X線の遮断法 コンクリート、木材、

瀝青等の X線透過法を行ふには散乱線遮断を行ふ必要がある。現今使用されてゐる散乱 X線遮断法は大別し二種とする。即ち

- (1) ブレンヂ (Blende 隔板) 使用の場合
- (2) 重金属 フイルター使用の場合

兩者の作用には類似點もある詳細な説明は省略するも、第61圖に簡単に原理を示す。實際は管球型試體 (W) 距離 (Fd) 大なれば Rの X

異視差最小可視線



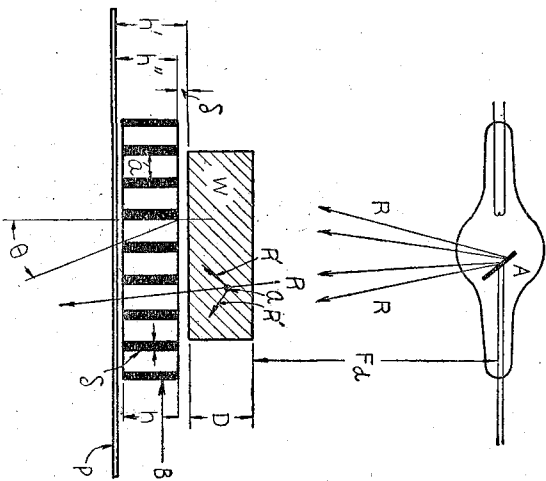
- a, 増強板使用 散乱線吸収板使用せず
- b, " 使用せず " 使用せず
- c, " 使用 " 使用
- d, " 使用せず " 使用

第 60 圖

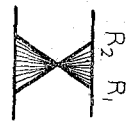
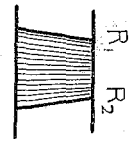
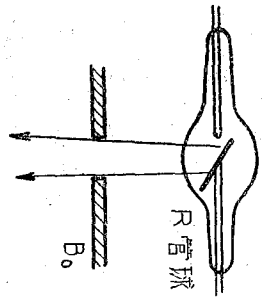
最小可視差異に及ぼす散乱 X線の影像

線は略々並行に近く、例へば供試體の内部 a 點を考ふれば放射 X 線光束の外 R' の如き 2 次 X 線が a 點より輻射され所謂亂線の影響を示すもので明瞭な透過寫眞を得る爲めには是非 R' を吸収し寫眞板 P に達しない様にする必要がある。W 章〔3〕節に述べた様に R 線には不變調及び變調 X 線更に二次陰極線により刺撃され供試體の特有 X 線も誘發される。同圖の B はゾレデに δ なる厚みの鉛等原子番號大なる元素の物質の格子が配列されてをり R' なる X 線は格子により遮斷され寫眞板 P に達しない。Neiff により考案されたもので最も明瞭な寫眞を得る様各種の形状の格子がある。即ち翼狀の外、放射狀、渦狀のものより Widmann の移動式(往復運動力)のものもある。最近は優秀なものが作られてゐる。例へばレイスホルムゾレデー (Lyschömbler) は長さ 32×34 cm にて厚さ 2 mm の鉛板を使用せるも 0.8 kg の重量にて X 線放射も 30% 程度増せば可と稱せられてゐるが使用に當り吟味する必要がある。勿論 X 線放射時間は増大して来る。更に注意すべき事はゾレデーの材料による散亂 X 線の輻射である。時には極めて有害となりゾレデー使用の効果をも減消する。斯かる場合は第 2 重金屬フィルター使用の應用により其の害を減少する事を得。

第 62 圖 (a) (b) (c) はゾレデー使用の實例を示すので B₁ B₂ はゾレ



第 61 圖 ゾレデー説明圖



第 62 圖

フレイデー使用 X 線透過法の一例

レデにて B_2 は第 61 圖の説明せしものと同じに B_1 は上部に置いた紫欝フ
レデに B_1 の爲め供試體内の X 線光束は (b) 圖の代りに (c) 圖に示す

如く
なり 溝深さ mm

透入 5 →

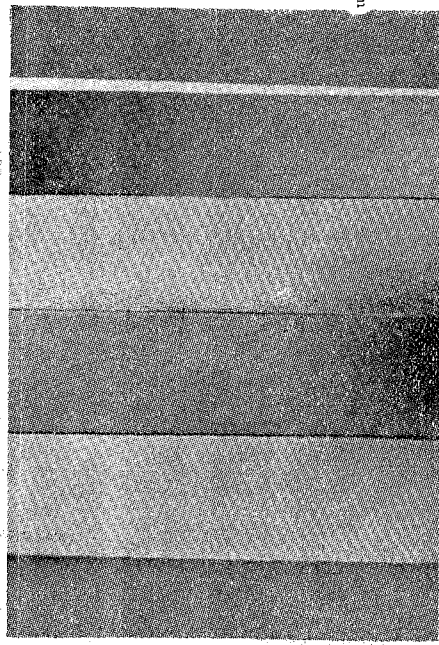
性を 75 →

著し 10 →

く増 15 →

加す 20 →

のも



某氏^{*}の考案である。第 (2) 法 重金属フイルタ
〜使用の原理は原子番数大なる金属は實吸收率大に

て散亂收率小なる事を利用するもので主に鉛、錫、

銅が使用されるが重金属自身の放射 X 線の關係より供試體の材質、使用管球電壓に應じ二種以上の重金属を組合せて使

用するもので此方面の Berthold の研究によるに例へば

管球電壓	フイルター	投射時間	可測溝の深さ
160	無し	7	7.5
170	無し	5	>7.5
180	無し	3	<10
200	無し	1	10
200	10Sn	5	5
200 K.V.	フレイデー	7.5分	<5mm

第 63 圖 散亂線フイルターの効果を示す

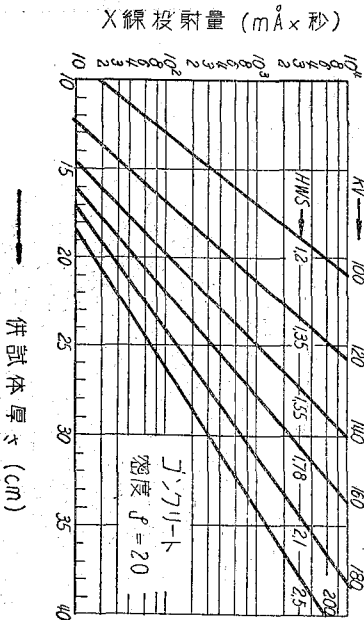
* 東京帝國大學醫學部教授東氏なるも姓名失念すを寛容

Cr 厚み 1 mm, Sn 厚み 1 mm, Pb 厚み (0.15 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 0.75 mm) + Sn 厚み 1 mm, プレデ + Sn 厚み 1 mm, ……の如き組合せがある。第63圖は重金属フィルターが X 線透過試験は如何に有効なるかを示す一例である。コンクリートの場合は後節に示す。

〔3〕節 **コンクリートの透過試験** コンクリートはセメントペースト骨材に分け透過性を研究すべきであるが今簡單に密度の異なるものとしてのみ取扱ふ事とする。

今假りにコンクリートの密度 $\delta = 2.0$ とするに
 砂 1.60~2.0 花崗岩 2.5~3.1
 セメントペースト 鐵 7.8

程度なれば略々上記の内鐵以外のものは同一程度の線透過を有するものと考へて大なる誤謬が無い。單位長さ當りの吸収量鐵と著しき差異あるを以て兩者の存在を判別するものである。實際上鐵筋コンクリートの X 線透過寫眞を見ても厚み 40 cm 位までは特に散亂 X 線 (二次線) の影響を遮斷せざるも鐵筋の存在を認め得



第64圖 コンクリート類の X 線透過度、密度 $\rho = 2.0$ Agfa-X 線フィルム増強板使用、管球〜フィルム距離 50 cm 黒さ = 0.7



(a)



(b)

鐵 65 第

鐵筋コンクリートの X 線透過寫眞に於ける鐵筋の判別度と照射面積廣狭との關係を示す

るも其れ以上の厚みに至れば判別し難くなる。必ず第〔2〕節に記述した方法を用ひて散亂線を遮斷せねばならない。セメントペースト（コンクリート）は空隙（密度）が可成り異なるものあれば、少なくとも密度は常に考慮に入れてをく必要がある。第 64 圖は黒さ $S=0.7$ に對する管球電流×時間 (mA. sec) と厚みの關係を示すものに第 37 圖鐵の場合と比較するに厚みの桁數が一桁異なる如く透過度が大である。コンクリートの場合は特に照射面積大小と區別し實測する必要がある。第 64 圖のものは照射面積大なる場合の様である (Max. Widemann)。若し供試體コンクリートの密度異なる場合 (D¹) は

同圖の與へる投射量 (mA. sec) $10 \mu D \frac{\rho - \rho_0}{\rho}$. 0.434^* を乗ずればよい。

但 $\rho = 2.0$ $D =$ 供試體厚み

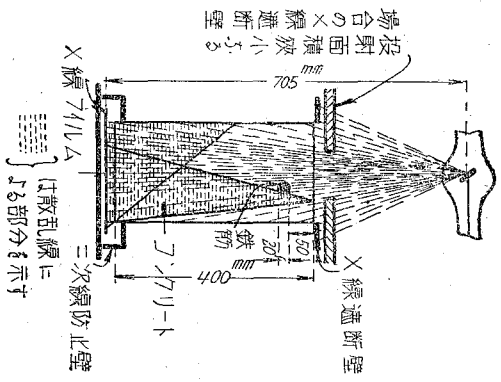
* $\mu = 0.603 / H.W.S$, 但し $H.W.S$ は半減層厚みにて材質に應じての X 線の硬さを示すもので第 64 圖に記入せる如く 200 kv と管球、電壓大なるに従ひ $H.W.S$ も増大す。参考の爲め鐵に對する値をも表示す。

K. V.	K. V.									
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
コンクリート	F.W.S. cm.	1.2	1.35	1.55	1.78	2.10	2.50	2.90	3.30	3.70
鐵	H.W.S. cm.	0.115	0.16	0.23	0.33	0.43	0.57	0.70	0.83	0.95

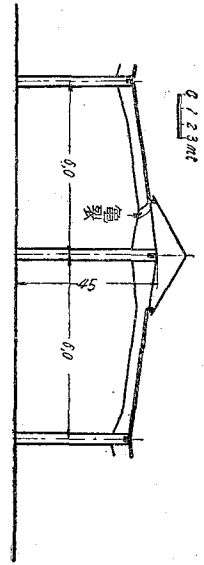
〔2〕節に述べた様にコンクリートの場合判別等は厚みの増加に伴ひ著しく困難となる。第 65 圖 (a) (b) は直径 20 mm の丸棒の鐵筋の封入せる場合に (a) は投射面積 20 cm², (b) の場合は 3 cm²にて第 66 圖に示す如き配置により X 線透過試験を行つた。更に重

金屬ワイルター (P 6, Sn の組合) を使用したる結果を得るも管球電壓を増大せざれば所定の黒さを得る事が出来ない。

實用上鐵筋の位置を定め、内部に於ける鐵筋の取、コンクリートの龜裂等の判定に役立つもので例へば 1909 年に建設された鐵筋コンクリート倉庫の鐵筋の位置大きさ數量に關して的確な資料無く X より線にコンクリートを破壊する事なく此等を明かにし鐵筋の可成り不足せる事を知つた。第 67 圖は 1909 年建設の鐵筋コンクリート倉庫の斷面の一部にて龜裂



第 66 圖 第 65 圖の X 線透過法の配置圖

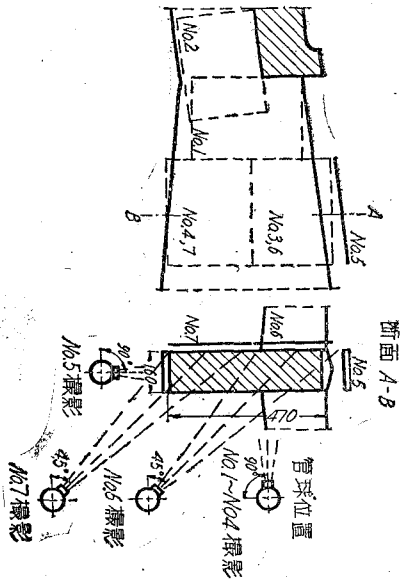


第 67 圖

X線透過試験を行へる鐵筋コンクリート倉庫断面

の發生せる部分を第68圖に示す如き種々の方向よりX線透過試験を行ひ第69圖(a)、(b)、(c)の如く鐵筋の位置を明かに推定する事が出来た。

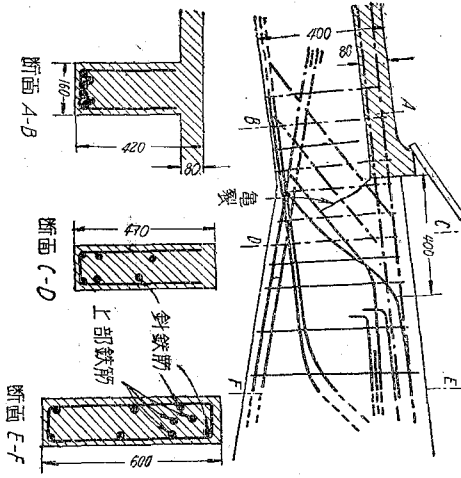
以上第68圖の如くステレオ的にX線投射方向を變じた場合のX線透過寫眞を第70圖に示す、鐵筋の位置は可成り明瞭に定め得、コンクリート内部の龜裂をもa部の如く判別し得た。上述せしは其の一例なるも全く同様の操作を行ふ事によりX線により鐵筋コンクリートの内部狀況を觀察し得。



第 68 圖

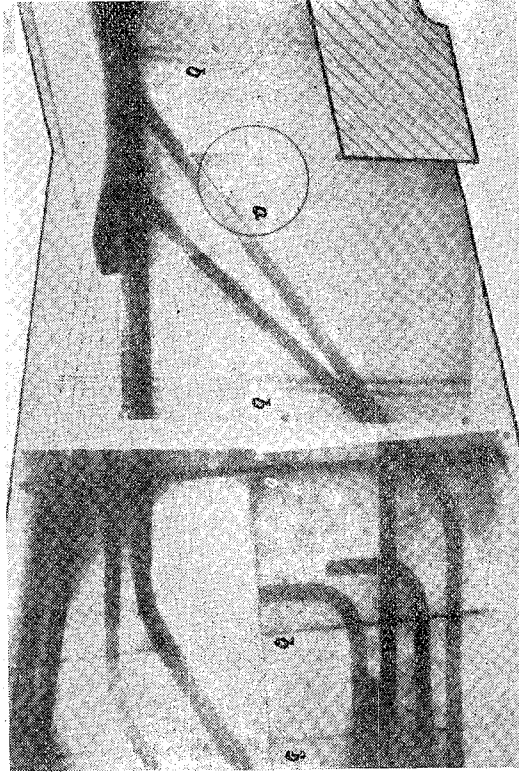
X線透過試験に於けるX線投射方向を示す
 X線フィルム位置：No. 1~No. 4水平、No. 5垂直、No. 6~No. 7斜傾、管球電壓 155 K.V.、管球電流 4 mA.、焦點距離 90 cm、投射面積 30×40 cm²、コンクリート厚み No. 1~No. 4、16 cm、No. 6~No. 7、47 cm、投射時間：No. 1~No. 4、1分、No. 5~No. 7、3分。

更に一應用として、X線透過過度よりコンクリートの空隙率の測定を行はんとするもコンクリートの場合には含水量其他の影響により量的結果を得る事は可成り困難である。乾燥せる耐火物等に於ては測定法に寫眞法以外の鋭敏なるものを使



第 69 圖

X線透過試験により判定せる鉄筋の位置を示す
 點線部は鉄筋の不足せる部分を示す。



第 70 圖

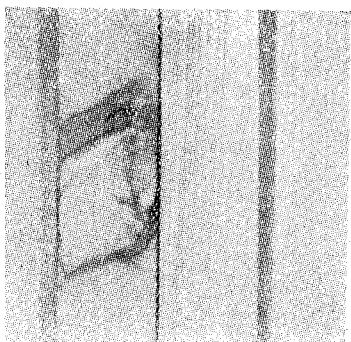
第 68 圖配置による X線透過試験寫眞
 a: 亀裂 b: 筋鉄筋

用すれば空隙率をも定め得。

〔4〕節 木材、瀝青等の透過試験、木材、瀝青類の X 線透過度はコンクリート等より更に大に於て従つて散亂 X 線の影響も著しく〔2〕〔3〕節に記述せる注意が特に必要である。此等に関する詳細な記述は省略するも木材等に於ては年環木節の位置、接合部分の状況等は明瞭に示し得るものである。透過度は木材の種類により廣範圍に變る。第 71 圖 (a) は木片を接合せるもの X 線寫眞にて内部に存在せる節が明かに顯れてゐる。

同 (b) 圖は内部断面の寫眞を示すもので X 線寫眞の示すものと全く同一である。可成り有効に X 線透過試験を行ひ得。

瀝青類の一例として道路舗装用アスファルト針度 40° 程度のものに就き、厚さ 11 cm の供試體 (直徑 5 cm) の透過試験を行ふに、寫眞黒さ (S) と X 線投射時間との關係は第 72 圖に示す程度のものである。今黒さ $S=0.7$ にす



(a)



(b)

第 71 圖 接合せる木材の X 線透過寫眞を示す

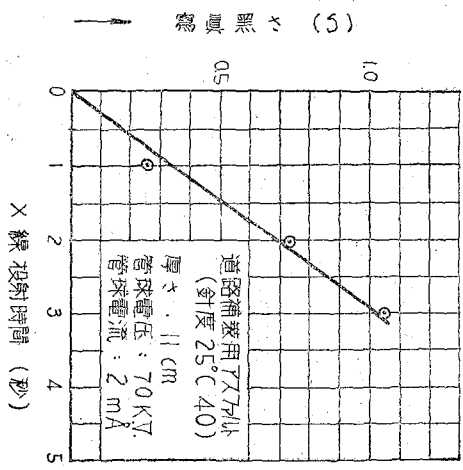
a: X 線寫眞

b: 断面寫眞

る投射量を求めんに約 2×2 (m.A. sec.) 70 K.V. にて、コンクリート類に比し 20 倍以上も透過度が大である。斯く石材とも吸収率を異にするを以てマカダム等の内部状況をも推定する事が出来る。

要約

以上各章により土木工學上に於ける X 線應用の透過試験の原理に關しては簡單ながら重要な諸點を記述した。實際個々の場合には節度工夫の要する事も熔接を始め鐵鋼の場合、コンクリート等の場合に於ける成續の記述により推察された事と思ふ。其他透過試験を應用し砂層内部の滑り面の研究、土壌内部の變形に關する研究を始め土木工學上の重要な應用がある。更に白色 X 線以外の示性線を使用する事により鐵材の歪に關する研究熔接材の内部應力、應力の傳達に關する研究より、路床上の變質、アスファルト變質、セメントペーストに關する内部組織の研究等其の應用方面は一段と増加し枚擧げに遑がない。斯かる方面の事例に關しては更に機會を得て記述し度く長期にわたり拙稿により貴重なる紙面を塞いだ事に就き讀者諸氏の御寛容を望む次第である。幾分にてても斯かる方面に携はる人の参考になれば幸である。



第 72 圖
道路補修用アスファルトの X 線透過度