

# 打込まれたコンクリートの強度を測る 一方法について

正員 工学博士 丸 安 隆 和\*

正員 水 野 俊 一\*\*

## A METHOD OF TESTING STRENGTH OF CONCRETE PLACED IN THE FIELD

(JSCE Jan. 1953)

*Dr. Eng., Takakazu Maruyasu, C. E. Member, Shunichi Mizuno, C. E. Member*

**Synopsis** The method to estimate the strength of concrete placed in the field by both the load indicated by the testing machine when the tapered steel pipe buried in concrete was pulled out, and the strength of the core placed in the steel pipe, was devised and experimented on by the authors.

After these experiments, this method was proved to be of use for practical purpose.

**要旨** 現場において、打ち込まれたコンクリートの強度を直接測る一方法として、わずかに勾配をつけた中空円筒をあらかじめコンクリート中に埋め込んでおき、これを引き抜く力と抜けてたコアの強度試験結果の両者によつて、コンクリートの強度を推定する方法を考案し実験した。実験により、この方法は充分実用に供しうることが明らかになつた。

### 1. 緒 言

現場において、打ち込まれたコンクリートの強度がどのくらいになつたかということを実験することがしばしば必要となる。このような場合、従来行われてきた方法としては、(1):現場でコンクリートの試料をとつて供試体を造り、現場と同じような状態で養生して強度試験をする。(2):コンクリート中に型を埋め込んでおき、試験する際に外側のコンクリートを壊して型ごと取りだし、中の供試体について強度試験をする。(4):特殊な金物をコンクリート中に埋め込んでおき、これを引き抜く力によつて強度を判断する。(5):(4)の一方法として釘を用いる方法。(6):鋼球をコンクリート面に衝突させて、生じた凹みの直径により強度を判断する。(7):ハンマーでコンクリートをたたいた音によつて判断する。(8):コンクリート中を伝播

する弾性波の速度を測定して、そのコンクリートの強度を推定する。(9):コンクリートに定常波を生じさせ弾性係数を計算して強度を推定する。等の諸方法がある。

これらの方法にはそれぞれ得失が考えられるが、著者は新たに比較的簡単な器具を用いて、容易に打ち込まれたコンクリートの強度を直接はかる一方法を考案した。すなわち、わずかに勾配のついた(約 2.5%) 截頭円錐形の鉄管(写真一参照)を打ち込まれたコン

写真一 供試体採取用型枠



写真二 抜きとられた供試体と引張強さ係数試験を行つた供試体



\* 東京大学助教授, 生産技術研究所

\*\* 同上 助手, 同上

クリートの表面に埋め込んでおく。所定の材令に達したときこれを引き抜くと、側壁がわずかに凸配がついているためちょうど截頭面に沿ってコンクリートが引張力をうけ、截頭円錐形のコアが抜きとられる(写真-2)。この引き抜くに要した力によつてコンクリートの引張強度を判定するとともに、更にこのコアに対して引張強さ係数試験の方法を利用し、これによつても引張強度を推定しようとするのである(写真-2)。この方法を実際に現場で応用するための基礎実験を行い、実用に供しうることを確かめたので、ここにその概要を報告する。なお、現場で使用するための器械が完成していないが、これができ次第、実際に現場で実験を重ねる予定である。

2. 実験

引抜試験の供試体としては、20×20×15 cm のコンクリートのブロックを用いた。コンクリートをこの型枠に打つと同時に試験用型(直径 10 cm 及び 7.5 cm の2種)をあらかじめ埋め込んでおいて、材令7日に達したとき 30 t アムスラー万能試験機により引き抜いた。型を埋め込むには、突き固めたコンクリートの表面に、比較的固い油(グリース)を塗つた型を鉛直に立て、手で廻転しながらコンクリート中に押し込むのである。その時円筒内部のコンクリートは外側のコンクリート面より下におしこまれるので新たにコンクリートを補充して、直径 10 cm の型は 11 回、7.5 cm の型は 6 回、直径 12 mm の先端を鈍くところがせた突き棒で型の下端を 2~3 cm 越すようについた。

供試体の数は、同じバッチのコンクリートから、直径 10 cm、7.5 cm のものをそれぞれ 3 個ずつ、圧縮強度試験標準供試体 3 個、引張強さ係数試験供試体 3 個をとり、すべて材令 7 日で試験をした。セメントは浅野セメント、砂は多摩川産で粗粒率 2.3、砂利は多摩川産で粗粒率は最大寸法 25 mm の場合には 7.0、30 mm の場合には 7.1 である。配合は、水セメント比 35% から 70% まで 9 種、スランブは大体 5 cm および 10 cm とした。骨材の最大寸法は 25 mm と 30 mm とを用いたが実験結果に差が認められなかつたので 25 mm を多く用いた。粗細骨材比は 1.8 と 2.0 の 2 種にした。強度試験の荷重速度は、引抜試験、引張強さ係数試験とも毎分 5 kg/cm<sup>2</sup> を標準とした。

破壊強度の算出方法は、引抜強度は引抜荷重を破壊断面積で除した値とし、コアの引張強さ係数は、載荷方向における両端の直径の平均を平均直径  $d$  とし、破壊断面の長さの平均をもつて平均長  $l$  として

$$\sigma_1 = 2 P / \pi dl \quad (\text{但し } P \text{ は破壊荷重}) \text{ より求めた。}$$

3. 試験の精度

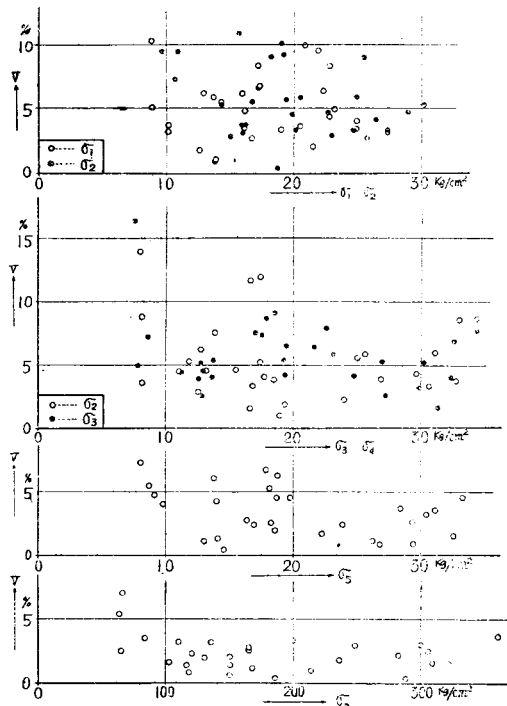
3 個の供試体の強度の変異係数を一応試験の精度の目安として、引抜強度、コアの引張強さ係数、標準引張強さ係数、標準圧縮強度について、それぞれ精度を比較した。3 個の供試体の強度を  $x_1, x_2, x_3$  としたときの変異係数  $V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2}{3}} / \bar{x}$  但し、 $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$  である。各強度別に計算結果をまとめると表-1 のようになり、各強度と変異係数との間の関

表-1

	引抜強度		コアの引張強さ係数		引張強さ係数	圧縮強度
	$\sigma_1$ (#10)	$\sigma_2$ (#7.5)	$\sigma_3$ (#10)	$\sigma_4$ (#7.5)	$\sigma_5$	$\sigma_6$
上限	10.4	11.0	13.9	9.0	7.2	7.0
下限	0.9	0.4	1.0	1.6	0.4	0.3
平均	5.12	5.47	5.42	5.39	3.36	2.35
標準偏差	2.56	2.70	3.11	1.88	1.88	1.41
標本数	29	29	29	29	29	29
変異	15.6	—	—	16.3	—	—

係を图示したのが図-1 である。表-1 に示したような 6 種の強度の変異係数の平均値の間に、有意な差があるかどうか調べてみたところ、まず、変異係数の分散は  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  の組と  $\sigma_4, \sigma_5, \sigma_6$  の組との間には有意な差が認められたが、各組のなかでは認められなかつた(危険率 5%)。つぎに平均値は  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  の間では差が認められず、この組と  $\sigma_5$  及び  $\sigma_5$  と  $\sigma_6$  の間では

図-1



有意な差が認められ、結局、圧縮強度試験の精度が最もよく、つぎは引張強さ係数試験で、引抜強度試験とコアの引張強さ係数試験の間では型の大きさによつては、試験の精度に有意な差が認められなかつた。以上の結果から、新しい引抜強度試験は標準の引張強さ係数試験に比べて精度が悪いことは明らかであるが、この試験方法はコアの引張強さ係数試験を行うことにより、これからもコンクリートの強度を推定することができるので、ごく大略の見当をつける意味から云えば、 $\sqrt{2}$  倍だけ精度がよくなると考えられる。この実験においては曲げ強度試験を行わなかつたので、それと比較できないのが残念であるが、現場コンクリートにおいて著者が行つた結果によると、材令7日の圧縮強度で変異係数の平均が 2.76 (供試体 3 個づつ 45 組の資料) 曲げ強度では 4.64 (供試体 3 個づつ 39 組の資料) であつたので、新しい引抜試験の精度は曲げ試験と大差ないくらいの精度が得られるのではないかと思う。もちろん、試験結果の変動だけからその試験の精度が決まるわけではないが、一応の目安を与えることにはなるであろう。

強度と変異係数との間の関係は、図-1 に示したが、引抜強度ではデータの範囲、すなわち  $\sigma = 8 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$  の範囲では傾向が見られなかつた。引張強さ係数では、コア及び標準供試体とも、強度の小さいほど変異係数が大になる傾向があり、圧縮強度では  $100 \text{ kg/cm}^2$  から  $360 \text{ kg/cm}^2$  の間では傾向はみられないが、 $100 \text{ kg/cm}^2$  以下では変異係数が大になる傾向があるようである。

スランプによつて変異係数が変わるかどうか調べるため、スランプを 6 cm 以下、10 cm 以上、その中間の 3 組に分けて、各組ごとに変異係数を調べてみた。データの数が少いためか有意差を見出すことができなかつたが、標準引張強さ係数では、スランプ 6 cm 以下の

ものがそれ以上のものに比べて、変異係数が小さいということが云える (危険率 10%) ことがわかつた。

4. 各種強度の間の関係

同じバッチのコンクリートを種々の方法で試験した結果、次に述べるような関係が得られた。これらの関係はデミングの最小自乗法によつて計算し、図中に示された 3 本の線のうち、中の線はあてはめた曲線、その両側の線は  $x$  軸が決まっているときの  $y$  の値の 95% 信頼限界である。各強度の間の関係式を表-2 に示した。これらを図示したのが図-2~6 である。これらの関係から、引抜試験の結果をもとにして、引張強

図-2

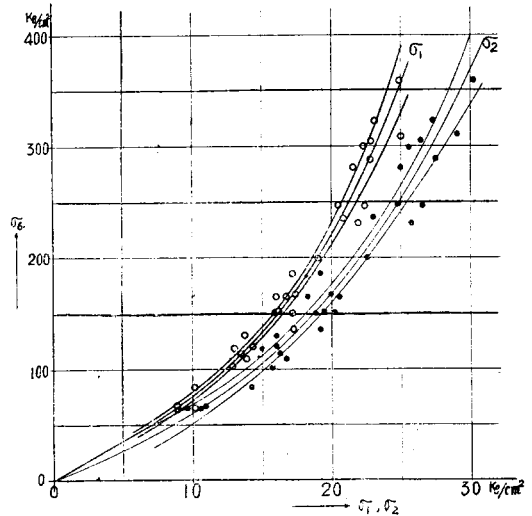


図-3

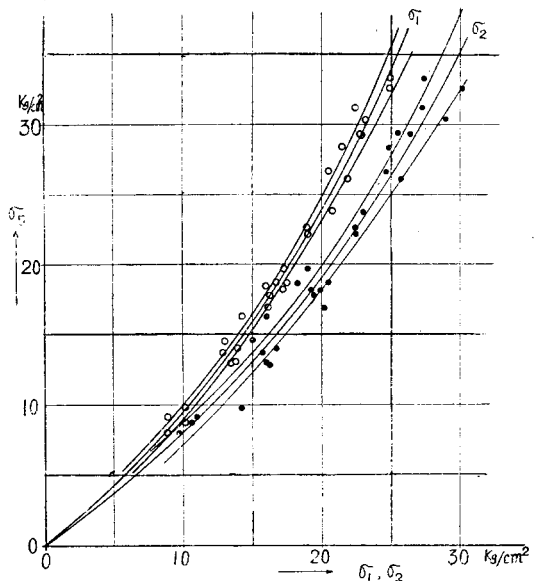


表-2

X	Y	タイプ	y = aX + bX² + cX³			参照
			a	b	c	
σ₁	σ₂	E	+2.87	-0.244	+0.0201	図-2
引抜強度φ10	圧縮強度	S	0.63	0.075	0.0024	
σ₂	σ₁	E	+5.38	-0.0075	+0.00792	,
引抜強度φ15	圧縮強度	S	1.80	0.190	0.00477	
σ₁	σ₃	E	+0.800	+0.0100	+0.000883	図-3
引抜強度φ10	標準引張強さ係数	S	0.046	0.0041	0.000116	
σ₂	σ₃	E	+0.716	+0.0053	+0.000333	,
引抜強度φ7.5	標準引張強さ係数	S	0.173	0.0181	0.000452	
σ₁	σ₄ φ10	E	+1.322	-0.0726	+0.00322	図-4
引抜強度φ10	コア引張強さ係数	S	0.170	0.0224	0.00071	
σ₂	σ₄ φ7.5	E	+0.547	+0.0143	+0.000281	,
引抜強度φ7.5	コア引張強さ係数	S	0.080	0.00654	0.000148	
σ₃ φ10	σ₅	E	+1.120	-0.00419		図-5
コア引張強さ係数	標準引張強さ係数	S	0.052	0.00137		
σ₄ φ7.5	σ₅	E	+0.761			,
コア引張強さ係数	標準引張強さ係数	S	0.026			
σ₅	σ₆	E	+9.14	-0.1496	+0.00614	図-6
標準引張強さ係数	圧縮強度	S	0.78	0.0985	0.00225	

図-4

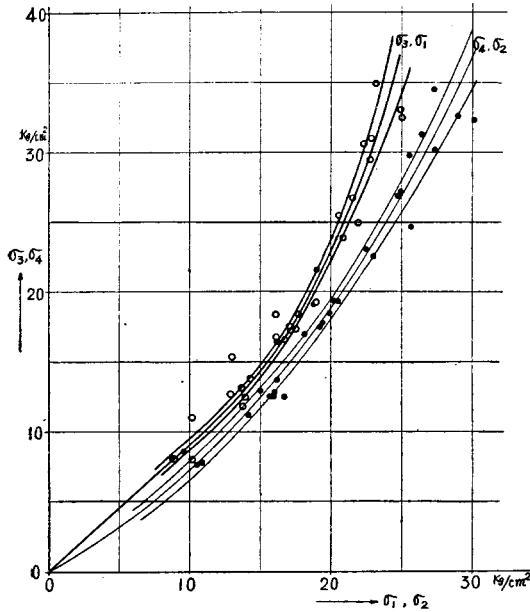


図-5

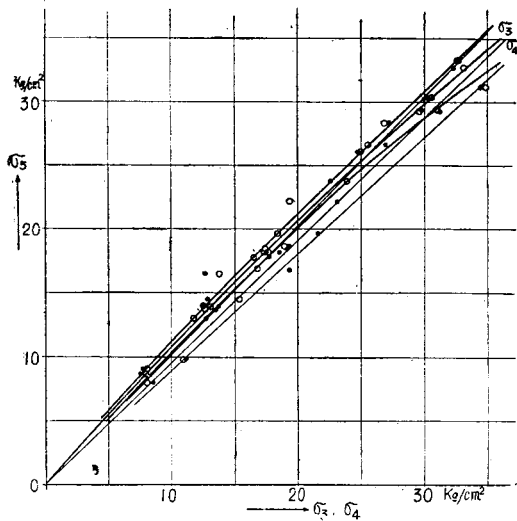
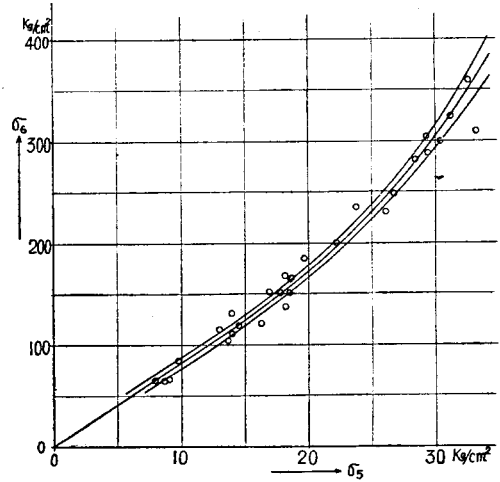


図-6



利 点

- 1) 現場で打ち込まれたコンクリートの強度を直接試験する。
- 2) 引抜強度及びコアの引張強さ係数の両者を試験することができる。
- 3) 注意深く試験を行えば、比較的良好な精度をうることができる。
- 4) 埋込みの深さに多少の差があつても強度に顕著な影響がない。
- 5) 引き抜かれた跡の形が簡単なので補修が容易である。

欠 点

- 1) 引抜強度の理論的説明が今のところまだ明らかにされていない。
- 2) 構造物の側面のコンクリートの試験を行うには、別に装置が必要となる。

6. 結 語

本試験法には上述のような欠点もあるが、現場コンクリート特に道路コンクリート等に用いれば、実用上十分な結果が得られると思う。この研究は、現場コンクリート試験方法に関する研究の一環としてなされたものであつて、引き続き、現場における引抜き器械を製作し、実際の試験を行う予定である。

この研究に対して種々御援助を与えて下さつた日本セメント中央研究所の方々に感謝の意を表する次第である。

なおこの研究は文部省科学研究費によつた。

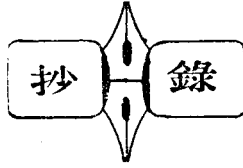
(昭.27.8.18)

係数及び圧縮強度の推定をすることができる。

しかしながら、これらの関係は固定されたものでなく、材令、材料、配合、養生等の条件により変ることは当然予想されることである。それ故、厳密に云えば、各条件の変化による影響をすべて熟知することが必要であり、今後の研究にまたねばならない。

5. 本試験法に対する考察

本試験法の利点および欠点と思われる点を述べれば次のようになる。



UDC

## つり橋の空気動力学的安定

Progress Report of the Advisory Board on the Investigation of Suspension Bridges : Aerodynamic Stability of Suspension Bridges, Proceedings ASCE vol 78, separate No. 144 A, 144 B, Aug. 1952

### 1. はしがき

橋に及ぼす風の空気動力学的作用は、風向と風速、橋の形及び運動と関係がある。風による振動の振巾は、風力、構造物のエネルギー蓄積能力、構造がもつ減衰性、橋の運動をエキサイトする風の継続時間などとの関係がある。風の速度と方向は架橋地点における観測でわかるが、設計する橋に対する風の条件をどうとるかは恐らく設計者が判定すべきことであろう。橋の大きさ、形がわかっているならば振動の基準型からなる橋の運動は、その質量、質量の分布状態、弾性的性質によつて完全に決定し得るが、風が橋に及ぼす動力学的影響のみがわかっていないのである。

### 2. 模型実験

ある橋の一部分を模型に縮小し、その部分の運動を確実に再現させることができる。

また風の力が振動のエネルギーになる割合は、測定によつて振巾との関係をプロットすることができる。すなわち部分的な模型実験をもととし、計算によつて橋の他の各部分の運動に拡張し、特別な風の条件下での構造物全体の運動を予想するのである。橋の運動と風の条件とに関係する各要素が互いに個別的なものであるから、設計に関する基準は資料が豊富に集まつてからでないと云えない。しかし次のことだけは云える。

- (1) 一般に補剛トラスは補剛プレートガーダーより有効である。
- (2) Deck Slots などの構造は有利らしい。
- (3) 上下の横構を設けて断面を箱形にするとねじれ運動の振動数を増し、おおりを抑制してねじり運動に対する風の限界速度をあげる。
- (4) 断面が高い固有振動数をもつことは普通有利である。すなわち
  - a) 中小 Span のものの振動数を有効に増すには補剛構の剛性を増せばよい (中位の Span とは大体

1 800 ft 程度)。

b) 長大 Span に対して Sag ratio に固有な振動数を補剛構造によつて高めることは経済的に不可能である。

(5) 大抵の架橋地点においては風は分散し一様にその地点を通過せず、非定常であり、乱れる。従つて危険な振動を起す状態は長くは続かない。しかし

a) ある範囲の風が異状に定常的であり一様であるような地点がある。

b) 橋のある種の断面に対しては特定の型の振動を起し得る風速の範囲がかなり広い場合がある。

(6) 橋の重量増加による剛性の増加は構造物のエネルギー蓄積能力を増す。その結果不利な振巾に達するのに長い時間を要する。

上述の事項から明らかな設計基準を与えることはできないが、つり橋を空気動力学的力に対してかなり安全に設計することは可能になる。すなわち模型実験によつて確かめた要素を適当に解析してこれを実物に応用し、設計上修正すべき点を見出すのである。

### 3. 委員会報告

顧問委員会は附録 1 に示した種々の文献を引用し、つり橋の空気動力学的振動に関するあらゆることがらを残らず収めようという目的で、この報告を提出した。

まず風の作用の仕方とそれに応ずる橋の動き方を述べ、次に運動機構とそれに含まれる多くの要素相互間の影響について評価し橋の設計上安定性を改良する端緒を示す。次に設計のさい橋が風を受けても不利な振動を起さないような一応の基準を述べている。さらに設計が適当であることを確かめる解析的、実験的方法を示している。最後に上のようにして確立された事項を再検討し、未だ考察すべき特性が残されていることを指摘している。

### 4. 設計基準及び方法

不利な振動をなくする方法としては一般に

- (a) 振動の源を弱めるかまたは消し去る方法。
- (b) 共振を避ける方法。
- (c) 減衰を図る方法。

などが考えられる。設計上の有効な方法は材料の物理的特性、活荷重、経済上の問題などによつて次のように決められる。

a) 径間長、側及び主径間長の比、Sag ratio などは工費を不当に増さずに比較的狭い範囲で処理できる。

b) 死荷重の扱いは荷重負担能力を犠牲にし、将来の耐荷力増加を割引きすることによつて目的を達し得る。

c) 剛性は Sag を小さくすることまたは慣性能率を

増すことによつて増し得る。前者については径間の $\frac{1}{10}$ ～ $\frac{1}{12}$ の範囲が適当であり、慣性率率はプレートガードまたはトラスを使えばかなり大きく変えられる、それは1000ft以下の径間のものでは相当に大きく2000ft以上になると影響は少ない。ねじり剛性は上下両横構を設けることにより増し得る。塔は径間が長くなるに従つてますますたわみややすくなる。塔のねじりに対する抵抗性はある程度増すことができるが、曲げに対する剛性を動きに影響するほど増すことは経済上不可能である。

d) 形としてはプレートガード補剛、トラス補剛があり、構造上、上路、下路、中路のほか歩道を内側にするか外側にするかなどの方法があり、床の形式ではSolidか格子かSlotかなど広範囲な選択が可能である。

e) その他摩擦力の利用など

#### 5. 規準の適用について

不利な振動を避けるようにつり橋を設計するために一応の規準があるが、ある種の要素については実験後でなければいまいと正確に定量的に云うことはできない。

##### a) 補剛構造の選択

補剛構造としてプレートガードの代りにトラスを用いることは最初のタコマナロウズ橋に起つたような中位の強さの風に対しては有効であろう。しかし金門橋のごときはトラス補剛でありながら、程度は低いが上記のような振動を受けることを示している。

##### (b) トラス構造

トラス補剛断面のあおりは確かに上横構と下横構、適当に床面を開くことなどを使えば避けられる。現在の知識では設計に対し解析によりまた風洞による動的な模型実験によつてそれらの影響を確かめることが望ましい。

##### (c) プレートガード構造

プレートガード補剛断面の場合適当な断面比率を用いた歩道を外側につけるなどの手段は模型実験によりその価値を確かめるのでなければ信頼すべきではない。もし実験の結果限界速度を上げるために振動数を上げたいときには、剛性の実質的な増加を工夫すればよい(最も効果的なのは、たわみを小さくすることである)。

##### d) 解析と模型実験

数理解析と動的な模型実験によつて風の理想化された条件下での空気動力学的安全は十分に決定される。現在の段階では、重要なつり橋にはこのような考察をすることが望ましい。

(平島政治)

UDC 628.16:541.18.048

### 濁水浄化の場合のフロキュレーション

Flocculation phenomena in turbid water clarification. By W.F. Hangelier  
Proceedings A.S.C.E. Vol. 78, No. 118, 1952.

天然の無機質濁度水は主に土壌よりきた粘土質でこれらの粒子は $5\mu$ までの径である。そのうちで $1\mu$ 径以下のものは最も安定で急速な凝集作用に大切なものである。微粒子は個々の粒子を取囲む電氣的2重の層で安定化し明らかに識別ができる。この外側の層は $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{H}^+$  等の変化性に富む陽イオンである。 $\text{Al}^{+++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$  のごとき多価陽イオンあるいは他の凝集剤を加えることにより2重の層は破られ粒子の安定度は低下する。

粒子は安定を破る局限で、粒子のイオン交換能力に従つた割合で結合を始めフロクを形成する。

多くの天然水はイオン交換をしようする最小限度の濃度も含んでいないので、このような水では安定を破る因子はあまり小さくて急速には沈降しない。普通の水を急速に清澄にするには、適当な凝集剤を混入することが必要で、凝集剤がいろいろの粒子を形の大きい急速に沈降するフロクに形成する。実際はアルミニウム塩や鉄塩のような単一の水酸化凝集剤の適量がこの両作用をする。礬土凝集では $\text{Al}^{+++}$ イオンの一部が濁度粒子の不安定化に有効であり、残りのイオンは水化作用によつて不溶性水酸化物を形成する。不安定化作用に必要な礬土量は系のイオン交換能力に等しく、初期に吸収された陽イオンの全部は本質的に $\text{Al}^{+++}$ で置き換えられる。所要の水酸化物は濃度と濁度粒子の大きさの分布に左右される。

一般の凝集作用は多くの変数を含む極めて複雑な平衡状態を表わすもので、ある水に対しては濁度、粒子分布、交換能力、pH、アルカリ度のごとき相関作用が存在しこの条件のもとに適量の不安定化イオン量と水酸化イオン量とが最小量の凝集剤のできるのである。アルカリ度が過量であると過量の結合子のため凝集剤の浪費となる。適量以下のアルカリ度では水酸化物が不足しているため粒子の満足の凝集をなし得ない。最適の凝集作用をせしめるには、 $1\mu$ 以下のコロイド状粘土粒子 $1\sim 5\mu$ の大きさの粒子が適当数に存在していなくてはならない。交換量はすべて $1\mu$ 以下の粒子と関係するものであるが、両粒子とも凝集量に関係する。これより小さい粘土粒子は相互凝集作用によつて水酸化粒子を安定化せしめるに必要であり、不安定化にとまらぬ凝集作用は他の浮遊粒子の凝集作用を誘起する。これより大きい粘土粒子は緻密なフロ

(39 ページへ)