

次のようである。

- (1) 内部定位の常数を求める時の精度は、その写真から図化する地図に必要な精度によつてきまる。
- (2) 内部定位の常数に必要な精度がきまれば、測角座標測定は、その精度に応ずる精度の器械と方法で測定しなければならない。
- (3) 測角の誤差、座標測定の誤差が、 f 及び d にどの程度の影響を與えるかは、用いる写真機によつて異なる。又、乾板上の点の位置によつても異なる。各々の場合について数値を入れて計算することが

必要である。

- (4) 乾板を使用する場合には、それは磨きガラスでも普通ガラスでも、実用上の目的には何れでもよい。しかし、フィルムでは適当な補正を施すことなく用いることは、大縮尺の精密測定には不適當である。
- (5) 測定に用いる点の選定は、なるべく全画面一様に分布し、平均の主点位置がきまらうにするのが望ましい。しかし、中央に近い点を用いると、測定誤差の影響が大きくなる可能性がある。

構築物の撓ミ記録に対する補正について

正 員 工学博士 三 瀬 幸 三 郎*

ON THE CORRECTIONS FOR DEFLECTION RECORDS OF STRUCTURES

(JSCE May 1950)

Dr. Eng. Kozaburo Mise O.E. Member

Synopsis It is the aim of this paper first to investigate the errors of deflection records taken by ordinary deflectionmeters with springs, and then to introduce the correction formulas necessary to determine the real values. It is also illustrated by actual examples the degree of error included in the measured values for different springs and sag wires.

I 緒 言

総じて構築物はその強サが安全であると同時にまたその剛度が充分でなければならない。然るに一般構築物の設計は多く材料の強弱によりその形態及び断面を定めるものであつて、先づ強サに関して充分安全なる様に作られるのが普通である。而して剛度に関してはその設計の出来たものに就いて最後に最大撓ミを算出して構築物としての剛性を吟味し、その値が実用に差支えなければこれで設計は完了することになるのである。若しその剛度不十分と思考される場合には設計変更となり、桁などであればその高さを増大して剛度を増強する様に今一度設計をやり直すことになるのである。

次に新しく建設せられた構築物の設計の巧拙及び製作架設の良否等を吟味するには、その外形及び各細部の検査をなすは勿論、時に応力計に依る検測をなすこともあるが、併しこれを全部材について測定することは非常なる手数を要する厄介な仕事であつて容易でない。そこで一般には撓ミ計を用いてその撓ミを検測してその剛性を吟味し構築物としての出来栄を査定するのが普通である。この方法は至極輕便であつて橋梁などでは新しく架設した場合その開通前試験荷重を載せ

最大撓ミを検測してがい橋の強剛度如何を検査するのが例である。而してその撓ミの大きさが、所定の範囲内のものであれば往來に差支なしとして橋上の交通を公開することになる。

さらに現時の橋梁に就いて視るに近來活荷重は鉄道橋に於てもまた道路橋にあつても共に逐年その重量増大して時には設計荷重を超過するものがあり、且つ速度も著しく急速となり衝撃の一層過大となつて居るのが少なくない様な状態である。斯る條件下に在つて現在の橋梁が果してそれらの荷重に対して安全であるや否やを検するには、一般に撓ミ計を以て最大変位及び振動状態を検測して、その強剛性を吟味するのである。而して之が一定の範囲内にあれば何等差支なしと云うことになり、若し撓ミ変位が過大であつて危険視せられるものであれば補強を施すか或は活荷重の重量又は速度に制限を置いて使用する等の窮策を講じねばならないことになるのである。

上述の如く新橋架設の際は勿論既設橋梁、特に命脈の盡きんとする橋梁の検査等には必ず撓ミ検測をなすべきものであつて、現在使用中の橋梁に於ても兎角超過荷重となる虞ある今の如き過度期に於ては、數年に1回、若し出来れば毎年1回検測を行つて、材料の腐蝕、風雨寒暑及びその他の天災に因る被害の有無等を

* 九州大学名誉教授

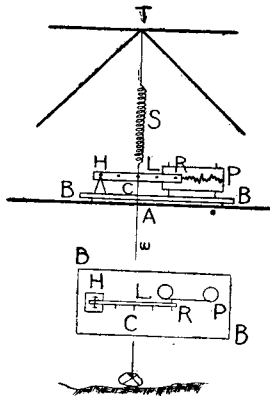
検べ以て交通の安全を計るべきである。

構築物の安否殊に一般公衆の安危に関する橋梁の撓ミ検測はその方法極めて精確を必要とすることは云うまでもないことである。しかるに従来広く用いられている主なる撓ミ計には何れも或誤差の伴ふものがあつて正確を期し難い。それにも拘らずその検測値に対する補正について論ぜられたものが極めて稀であるのは遺憾である。¹⁾ そこで今茲にその補正の必要なる所以とその補正について述べんとするものである。

II 撓ミ計の構造

撓ミ計には形態の種々変つたものもあるが大別して2種となすことが出来る。即ち、A: 発條を利用したもの、B: 発條を用いないもの、Bは多く構造極めて簡単で軽便なるものではあるが、唯最大撓ミだけを示すもので、静的の検測には間に合つても橋桁の振動変位の模様を記録せしめることは出来ない。もし活荷重による橋梁の撓ミ及び振動の状態を詳しく検測せんとすればAの

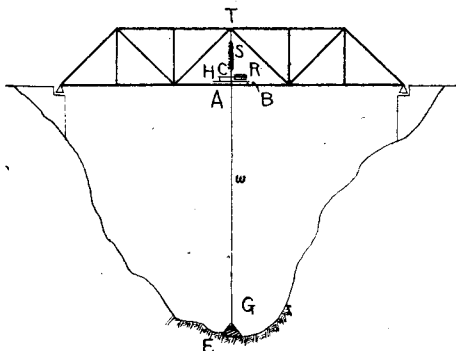
圖一 發條撓ミ計の主要構造
Fig. 1. Main structure of spring strain meter.



發條を利用した自記撓ミ計が最も都合である。

この發條を用いた撓ミ計にも形式の種々異つたものがあるが、主要構造は圖一に示す如く器台B、衡桿L、記録ペンR、記録紙P、發條S及び垂線ω等より成つている。Lなる衡桿は一端Hに垂直平面内の廻轉自在なる鉸結があり、他の一端Rに記録ペンを持つてい

圖二 橋上に撓ミ計を取りつけた場合
Fig. 2. In case this meter is installed on the bridge.



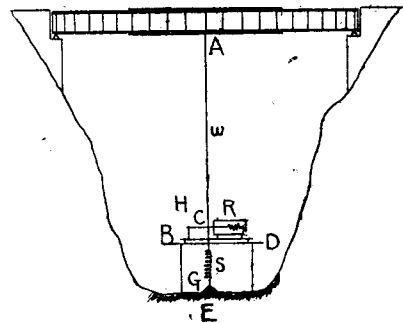
1) 鐵道省第2回橋梁會議記録 97頁 昭和3年4月

る。このペンの運動が自働滑走記録紙P上に記されるのである。

III 検測の方法

今この撓ミ計を検測せんとする橋梁の格点A上に圖二に示す如く取付けその撓ミ及び振動を測定するものとする。現場の状況に依つては圖三の如く橋下の地上に設けた机又は足場上に取付けることもある。次に衡桿Lの一定点Cの上下に夫々發條Sと垂線ωを

圖三 地上に撓ミ計を据付けた場合
Fig. 3. In case this meter is installed under the bridge.



引張り、その下端は之を検測点の鉛直下の地上Eにすえたる垂錘Gに固定し、上方發條の上端を直上部位Tに結びつけ、TOGの3点をして一鉛直線中にあらしめる。

かくして橋上に荷重が乗つて橋桁が振動を起し検測点Aが上下動をなす時は圖一、二のCG、圖三のAC間の長さは上下動の量丈増減を來すことになる。然るにCT間に挿入した發條の作用に依りその上下動は發條の伸縮となり、従つてこれと連結せられた衡桿HORは鉸点Hを中心としHCを半径として上下に角運動を起し、その一端のRなるペンはその運動をHR/HC倍に記録紙上に自記することになる。斯くして得た変位記録は一般に橋梁の撓ミ振動を與えるものとしている。

IV 検測値の誤差

然るにかゝる装置の測定記録には或る誤差の伴うものがあることを知らねばならぬ。なんとなれば上述の記録は橋桁の眞の撓ミ振動を與えるものでなくて、只單に發條の伸縮即ちCT間の長さの変化のみを記し、CG垂線の長さの変化には何等関與するところが無いからである。これ垂線の長さCG及び橋構部材間の距離一定不変なる完全剛体の場合の外は決して眞の上下動を記録するものでないことは至極明瞭なことである。

元來この發條を利用した撓ミ計の検測に於ては当初予定し得る上下動以上に發條が伸縮し得る様充分なる張力を發條Sに與えて置くべきものであつて、従つて同鉛直線上にある垂線ωも亦それと同じ張力を受ける

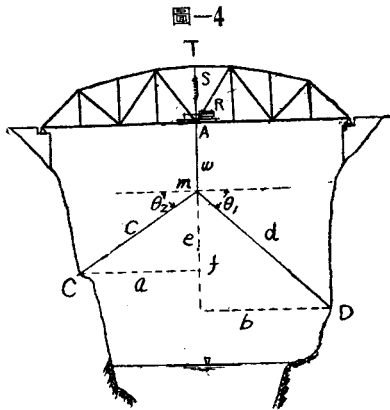
訳である。故に垂線 w が完全なる剛体に非ざる限り橋桁の上下動に伴い発條の伸縮をなすと同時に垂線も亦或伸縮をなすことは明白である。これを度外視するは不合理の第1である。

次に橋梁その他構造物に外力が作用した場合、部材は或る応力を受け、その結果変形を生じ、構造物としての変位振動を誘起するものである。かゝる構造物の1点Tに発條の一端を取付けその距離ATを不変と見做すのは明かに不当である。これ不合理の第2である。

なお長時間に亘つて構造物の変位を検測するものとすれば第3の誤差として温度影響の入り来ることを覚悟せねばならぬ。然し普通活荷量に因る撓ミ振動等の検測に於ては測定が極めて短時間内のことであるから温度変化の影響を考慮する必要は無い。斯くして問題は上記の第1と第2の誤差である。

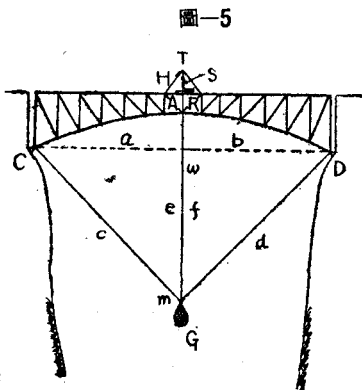
Ⅶ 眞實の撓ミ

然らば実際の撓ミ振動は如何にして之を求めべきか。即ち誤差の補正は如何にして之を加うべきかと云うことになる。



前述の誤差の内第2のものは検測中のAT間の距離の変化であるが、之は橋梁の撓ミ振動等の大サに比し極めて微小なるものである。若しT点をその構築物の部材中に採らずして器合上に直接取付けたる強剛なる特設枠上(圖一5)に採ればその誤差を除外することが出来る。

依つて残るのは第1の誤差、即ち垂線



の伸縮に起因するものであつてこれが本問題の主題である。元來発條及び垂線の伸縮はいつに夫等の伸張率と張力の変化とに由るものであつて、今

$\delta =$ 橋桁検測点の眞の上下動, $\Delta P: \delta$ なる上下動に伴う張力の変化, $\delta_s: \Delta P$ なる張力変化に伴ふ発條の伸縮, $\delta_w: \Delta P$ なる張力変化に伴う垂線の伸縮, $\rho_s: \text{発條} S \text{の伸張率}, \rho_w: l_w \bar{\rho}_w: \text{垂線} l_w \text{の伸張率}, \rho_w: \text{垂線の長サ} 1m \text{の伸張率}, l_w: \text{垂線の長サを} m \text{にて表わしたものとすれば, それ等の関係は橋桁の撓ミ変位の全量が発條及び垂線の伸縮に依つて吸収し盡されるのであるから,}$

$$\delta = \delta_s + \delta_w = \Delta P (\rho_s + l_w \bar{\rho}_w)$$

然るに記録紙上に記される動きは唯発條の伸縮のみであつて垂線の伸縮には全く関係がない、而してその量は

$$\delta_s = \Delta P \rho_s = \frac{\delta}{\rho_s + l_w \bar{\rho}_w} \rho_s$$

依つて眞實の上下動は

$$\delta = \delta_s \left\{ 1 + l_w \frac{\bar{\rho}_w}{\rho_s} \right\}$$

となる、即ち眞の撓ミを求めんとすれば記録より得たる δ_s に更に $\delta_s l_w \bar{\rho}_w / \rho_s$ なる補正を加えねばならないことが判る、又この式に於て $\rho_w = 0$ なる場合、即ち伸縮なき完全剛性の垂線であれば補正の必要なきことも明かである。

Ⅷ 補正の量

この補正の量はもとより発條及び垂線の伸張率に依つて定まるものであるが、今橋梁などの撓ミ検測に實際用いられている Vertical wire 及び Spring の例についてそれ等の弾性を調べ見ると表一、二の如くである。

表一 Vertical wires

	Brass Wire	Steel Wire
Diameter d mm	1.046	0.847
Sec. Area A mm ²	0.861	0.564
Mod. of Elasticity E kg/cm ²	8.26×10^5	1.92×10^6
Extensibility $\bar{\rho}_w$ cm/kg/m	0.01408	0.0093 0

表二 Steel Springs

	A	2A	4A	B
Wire diameter d mm	1.50	1.50	1.50	2.50
Spring diameter D mm	9.55	2@ 9.55	4@ 9.55	22.75
Spring length l cm	32.00	2@32.00	4@32.0	11.00
Extensibility ρ_s cm/kg	3.900	1.950	0.975	1.300
Max Pull P max kg	6.00	12.00	24.00	17.00

上記の数値に基き $l_w \bar{\rho}_w / \rho_s$ の補正量を算出して見

ると橋下渓谷深い場合又は水深大なる時は次表に示す
如く相当量の補正を加えねばならないことが判る。

表-3 Corrections $l\omega\bar{\rho}_\omega/\rho_s$

$l\omega$ (m)	(1)	(2)	(3)	(4)
	$\bar{\rho}_\omega=0.0093$ $\rho_s=1.300$	$\bar{\rho}_\omega=0.01408$ $\rho_s=1.300$	$\bar{\rho}_\omega=0.01408$ $\rho_s=1.950$	$\bar{\rho}_\omega=0.01408$ $\rho_s=0.975$
	%	%	%	%
10	7.2	10.8	7.2	14.4
20	14.3	21.7	14.4	28.9
30	21.5	32.5	21.7	43.3
50	35.8	54.2	36.1	72.2
70	50.1	75.8	50.5	101.1
100	71.5	108.3	72.2	144.4

Ⅶ 特殊の場合

普通の河川又は他の路線上に架設された橋梁であれば上述の方法で検測し、その垂線の長さに相応する $l\omega\bar{\rho}_\omega/\rho_s$ なる補正を加えれば宜しいのであるが、時として前記の不動点 E の得難いことがある。

例へば深い渓谷で急流激端の場合、或は大河川で流水は緩漫河底泥土の深い場合等何れも E なる不動点を得ることは非常に困難である(斯る場合撓み検測不可能の如く報告せられている例もある)。

この様な特殊の場合次の如き方法を適用すればその撓みを検測することが可能である。それには圖-4 に示す如く両峯又は両側の橋台、或は橋脚に夫々 C 及び D なる不動点を採ることが出来れば、鉛直線 A_m の m 点と C 及び D 点を図の如く結び、次に検測器上の発條に所要の張力を與え前述の方法と同様にして橋梁の撓み振動を記録せしめることが出来る。此場合の補正は次の如くして求められる。眞の撓み δ は

$$\delta = \delta_s + \delta_\omega + \delta_m = \Delta P(\rho_s + \rho_\omega + \rho_m)$$

上式中 $\delta_m = \Delta P \rho_m$ であつてこれは交点 m の垂直変位然るに記録変位は

$$\delta_s = \Delta P \rho_s = \frac{\delta}{\rho_s + \rho_\omega + \rho_m} \rho_s$$

従つて
$$\delta = \delta_s \left\{ 1 + \frac{\delta_\omega}{\rho_s} + \frac{\rho_m}{\rho_s} \right\}$$

式中 $\rho_\omega = l\omega\bar{\rho}_\omega$

$$\rho_m = \frac{\bar{\rho}_c \cos^2 \theta_1}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} + \frac{d\bar{\rho}_d \cos^2 \theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)}$$

$\bar{\rho}_c = C_m = c$ の l_m に対する伸張率

$\bar{\rho}_d = D_m = d$ の l_m に対する伸張率

これらを代入して

$$\delta = \delta_s \left[1 + l\omega \frac{\bar{\rho}_\omega}{\rho_s} + \frac{1}{\rho_s \sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \left\{ \bar{\rho}_c \cos^2 \theta_1 + d\bar{\rho}_d \cos^2 \theta_2 \right\} \right]$$

若し $\bar{\rho}_\omega = \bar{\rho}_c = \bar{\rho}_d$ ならば

$$\delta = \delta_s \left[1 + \frac{\bar{\rho}_\omega}{\rho_s} \left\{ l\omega + \frac{c \cos^2 \theta_1 + d \cos^2 \theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \right\} \right]$$

尙 $\sin \theta_1 = f/d, \cos \theta_1 = b/d$

$$\sin \theta_2 = e/c, \cos \theta_2 = a/c$$

を代入すれば

$$\delta = \delta_s \left[1 + \frac{\bar{\rho}_\omega}{\rho_s} \left\{ l\omega + \frac{b^2 c^3 + a^2 d^3}{(af + be)^2} \right\} \right]$$

更に C, D の 2 不動点が同じ高さにあつて

$$a = b, c = d, e = f$$

なる時

$$\delta = \delta_s \left[1 + \frac{\bar{\rho}_\omega}{\rho_s} \left\{ l\omega + \frac{c^3}{2e^2} \right\} \right]$$

となる

処が検測地点の地形如何に依つては圖-4 の如き C, D 2 点も得難いことがある。その場合は圖-5 に示す如く橋梁両端支承の固定点 C, D 間に針金を張り検測点直下の m 点に重錘を吊り、この点に鉛直線 $A_m = l_m$ を結びつけて検測を行えば静的の撓み検測は可能である。

但しこの場合走行荷重に因る正確なる撓み振動を測定することは容易でない。本検測に於ける鉛直線 l_m 及び m 点の動きに対する補正を添加すれば眞の撓みは前例同様に次式で與えられる。

$$\delta = \delta_s \left[1 + l\omega \frac{\bar{\rho}_\omega}{\rho_s} + \frac{b^2 c^3 \bar{\rho}_c + a^2 d^3 \bar{\rho}_d}{(af + be)^2 \rho_s} \right]$$

若し $f_c = \bar{\rho}_d = \bar{\rho}_\omega$

且つ $a = b, c = d, e = f$

なる対称の場合とすれば、上式は前例の場合と同様簡單に

$$\delta = \delta_s \left[1 + \frac{\bar{\rho}_\omega}{\rho_s} \left\{ l\omega + \frac{c^3}{2e^2} \right\} \right]$$

となる。

Ⅷ 結 語

以上の説明で解る様に構築物の強剛度を測定する場合單に靜荷重に由る最大変位を知れば宜いと云ふ程度のものであれば、發條を用いない方法で簡單に測定出来る。

然し走行荷重が而も非常なる急速度を以て橋上を通過する場合の撓み振動の検測に於て連続記録を得んとする時は發條を利用した撓み計が便利である。この測定に於てはぜひ發條及び垂線の伸張率を求めてその補正を加えねばならない。垂線の弾性に由る誤差は安全側のものではなくて危険側のものなることを特に注意すべきである。即ち實際の撓みより小さい撓み記録が出て來ることを忘れてはならない。

發條を利用した撓み計でもその垂線の張力を一定となる様に工夫したものであれば上述の補正もなくてすむことになる。この問題については稿を改めて記述することにする。併し現在用いられてゐる撓み計は何れ

も実際値より小さく出る様になつてゐるので何れも補正が必要である。

最後に一言附加して置きたいと思うことは、今の如く総てが speed の時代に於て橋梁など兎角 over loading になり勝である。しかもその安危は一般公衆の安否に関するものであるから、少くも数年に一回位の撓度検測を行つてその強剛度を檢査することを怠つてはならないと云うことである。それにも拘らず架設後は維持修理を怠り老朽腐蝕のまゝに放任し撓ミ檢測など一切お構ひなく成行に任してそのまゝになつてゐるものが多いのは心なきことである。而していざ災害奇禍の突発した場合は唯その表面上に表われた直接の原因と見られるもののみを挙げて如何にも不可抗力であつたかの如く或は責任を他に轉嫁するが如き評議を

してゐる様な場合がありはしないかと案じられるものがある。斯る場合の眞の責務は果して誰が負うべきものであろうか。その局に当るもの特に技術者の熟慮三省すべきではあるまいか。唯新しい構造物を築設さえすれば能事終れりと云う様なものではあるまい。総て構造物はそうであるが特に公共のものは之に出来る丈の維持修理を施して有効に而も永く活用することがその主目的であり且それが國家社会的にも經濟的となり資材を有効に使用する道である。而して之が吾々技術者の心懸くべきことであり又なすべき仕事の一部であると思つてゐるものである。万一にも橋梁の強剛度判断を誤つて不慮の災害を惹起するが如きことのない様茲に撓ミ記録の誤差について注意を喚起し危害を未発に防止せんとするものである。

二重濾過法の設計について

正員 安田卓治*

ON THE DESIGN OF DOUBLE FILTRATION

(JSCE May 1950)

Takuji Yasuda, C.E. Member

Synopsis In Kyoto city, 1950 F.Y., double filter of Matsugasaki purification plant are constructed. Therefore, this paper reports a study of economical comparison between single and double filtration.

I 松ガ崎浄水場の擴張計画と浄水方式の問題

京都市の東北、高野河畔にある松ガ崎浄水場は蹴上浄水場に次いで古く昭. 2. の創設であつて、琵琶湖を水源として第二疏水隧道末端の蹴上から分水路に沿つて若王子取入口に至り、そこから延長 4 380m の導水管（その計画取水量 156 000t/d、目下水源保護を目的として取入口の改良及び φ1 350mm 導水管整備工事を施行中である）により原水を導く。浄水方式は蹴上で本邦最初の急速濾過法を採用したのに対しこゝでは緩速濾過法に依つて処理し塩素消毒を施した後、京都市の北西部を給水区域とする松ガ崎高区及び最高区各配水池にポンプで圧送（揚程 45m 及び 68m）される。

緩速濾過池は創設以來再度の増設が行われ現在單位有効面積 1 775m² のもの総て 11 池あつて、正常な運営（濾過速度 6.1m/d）に於ては 97 400t/d の濾過能力を持つ。しかし實際は現下の水不足に対応する非常措置によりその施設能力以上の加重負荷（約 110 000t/d、濾過速度 7m/d）を與えてをり、送水設備も既に限界能力に達しているので相当無理な操作をよぎな

くされている。來する年度に予定本浄水場の張は濾過能力を 150 300 t/d に、即ち水源の取水能力の限定まで増強せんとする計画であつて、之に附帶して必要な構内配管、消毒及び送水設備の増補改良を含むものである。

浄水方式の問題で、松ガ崎浄水場に於ては何故緩速濾過法が選ばれたかの理由の一つは敷地の関係であつて、蹴上の場合とは全く反対に広大な施工基面が得られた代りに落差があまりとれなかつたこと、他の一つは元來低

表一 第二疎水取入口附近に於ける原水の水質試験成績（昭. 23 調査）

Table 1. Report of water test at the inlet of No.2 water tunnel.

検査種類	最高	最低	平均
氣温	29.5	8.5	19.5
水温	28.8	8.7	18.7
浊度	3.5	1.2	2.6
色度	4.9	1.3	2.4
臭味			川瀬臭甚明
反応			依弱アルカリ性 中性 微酸性
PH	7.5	7.0	7.2
アルカリ度	26.2	20.0	23.4
酸度	4.2	0.3	2.1
遊離炭酸	1.8	0.1	0.9
塩素イオン	5.6	4.9	5.3
硫酸イオン	19.0	5.0	10.6
硝酸性窒素	0.06	0	0.01
亜硝酸性窒素	0	0	0
アンモニア性窒素	0.01	0	0
溶存酸素量	12.5	2.7	4.7
石灰度	13	1.0	1.1
カルシウム	5.2	4.0	4.7
一般細菌	660	7	111.5
遊離性菌	14	3	2.1
カス発生量	45	3	2.7
ろ過残渣	(+)	(+)	(+)
ろ過試験	(+)	(+)	(+)

* 京都市水道局工事課