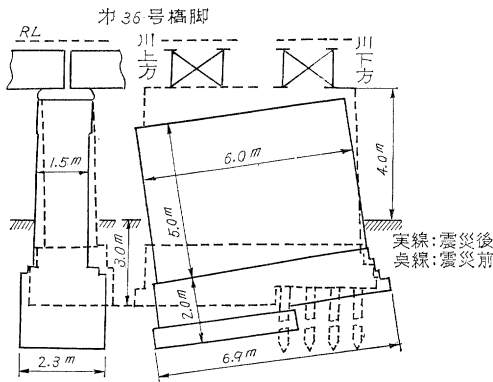


図-3 東北本線荒川橋脚の傾斜



いとも考えられる。

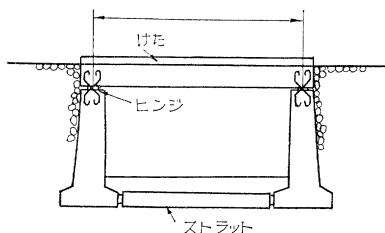
基礎の沈下は、調査した範囲では、砂、シルト、粘土などの軟弱な地盤でさきえられている場合に多いようである。大地震では地盤自体も沈下するから、構造物の絶対沈下を防ぐことは不可能であるし、意味もない。設計上注意すべき点は、局部的な不等沈下をなるべく少なくすることであろう。沈下のおそれがあるときには、沈下の影響の少ない単純桁を採用したほうが、上部構造に被害をおよぼさない点で有利である。

(3) 橋台の前進を防ぐには

橋台が地震によって増大した土圧によって前進した例はかなり多い。橋台が前進すると桁端がパラペットに接して桁がストラットとして作用するようになり、このためにパラペットが切断したり、橋台躯体が切断し切断上部が後傾したりした震害例が多い。コンクリート桁で、パラペットとの間の型わくをうめ殺したものでとくにこのストラット作用を起こしやすい。

とくにコンクリート桁の場合には、桁は軸方向圧縮力に対して十分余裕をもっているから、はじめからこのストラット作用を設計に利用することが考えられる。国鉄の新幹線では10m以下の短スパンRC桁に限って、図-4のように桁を両端で橋台とヒンジで結び、橋台は上端で桁によって水平にさきえられるものとして設計した例が多い。この場合、橋台基礎の間にも地中ばりを施工してストラットとしている。より長いスパンでも、桁端とパラペットとの間に適当な目地材をそう入して、常時土

図-4 桁ストラットの利用 (L≤10m)



圧に対しては桁のストラット作用が生じないようにし、地震時に橋台天端が前進すれば桁のストラット作用が生じるようにすることが考えられる。この場合パラペット、橋台躯体はストラット反力に十分耐えるように設計し、橋台前面にも引張りに対して配筋しなければならない。 [筆者：正員 国鉄新幹線総局作業局設計課]

3-3 水道施設

中川 義徳

1. 総 説

上水道は都市生活の基本的施設であるので、これが震害のために長期間断水するようなことは絶対に避けなければならない。近年東京をはじめ大都市がいちじりしく膨張しているが、それらの都市においては井戸などの他の給水源はほとんど頼ることができないから、上水道断水の市民生活におよぼす影響は特に大きなものとなっている。この意味で上水道施設の耐震の重要性は再認識されなければならない。日本水道協会は去る昭和23年の福井地震を契機として水道施設の耐震工法の問題をとり上げ、専門委員会を設けて研究の結果、昭和28年に「水道施設の耐震工法」¹⁾をまとめた。この中には、水道施設の耐震工法についての基本的考え方が述べられているので、まずこれをつぎに記す。

(1) 水道の主要施設はすべて地震力を考慮に入れた合理的計算によってその構造を定めなければならない。

(2) 完全なる耐震構造とすることは多くの場合、経済的理由などによって不可能であるので被害を最小限に食い止めるため、㊸ 震害をできる限り局限する方法をとること、㊹ 震害部の復旧が容易にできるようにすること、㊺ 震害による二次的被害を防止する対策を講じておくこと、などの配慮が設計にあたり必要である。

(3) 特に重要な施設、構造上震害を受ける公算の大きい施設、震害があっても発見しがたい施設、震害を受けた場合、復旧の困難もしくは長期にわたる施設は1個のみを築造することを避け、2個以上に分割するか、もしくは予備施設を設け、完全断水を避けるようにする。

(4) 2以上の配水系統より成る水道では各系統を幹線により相互に連絡し、一方の系統に事故のあった場合、他方より送水可能のようにする。

(5) 地震による停電のための断水を避けるため、送配水ポンプの動力電源には、予備として自家発電設備を持つことが望ましい。しかしやむを得ず一般電力のみに依存する場合は別個の2系統の電源を待つことが特に望まれる。

(6) 災害時の修理を迅速に施行しうよう復旧の緩

急を考慮して適当な場所に平素より、必要な修理用資材、器材を貯蔵しておく必要がある。

(7) 工具、作業員などの労力の迅速需給についても、平素よく研究し準備しておく必要がある。

(8) 施設の復旧および応急給水については、便宜の都市間において平素から相互援助の態勢を整備しておく必要がある。

2. 設計震度

前記「水道施設の耐震工法」においては設計震度は地域、地盤、施設の別によりつぎのように定められている。

(1) 各地域における標準震度は 図-1 (河角博士の75年震度期待値) に示した範囲において当該地の地形、地勢を考慮して慎重に定めるものとする。ただし標準震度は0.1以上とする。

(2) 構造物に対する設計震度は、地盤の種類、施設の種別によって標準震度に 表-1 の比率を乗じた値とする。ただし、その値が0.1以下となったときは0.1と

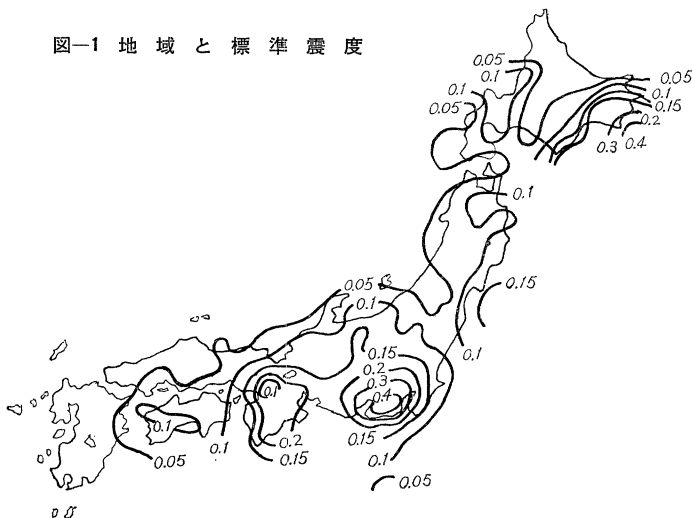
表-1 設計震度比率表

地盤の種類	浄水施設 および開水路	塔状構造物 および水管橋	埋設管路
岩盤、硬い砂礫層	0.4	0.5	0.3
洪積層	0.7	0.7	0.7
沖積層	1	1	1
軟弱地盤	2	2	2

するを要し、0.3 をこえるときは0.3とすることができる。ただし、塔状構造物、水管橋その他の特殊構造物に対しては0.4以上とする。現在のところ、普通の構造物の計算では、地震荷重は静荷重にこの設計震度を乗ずる静力学的計算で求められている。

地震荷重を考慮した場合のコンクリート、鉄筋などの

図-1 地域と標準震度



許容応力は平時の1.5倍まで高めることができる。地盤の許容応力度は洪積層、沖積層に対しては平時と同じ値を、岩盤に対しては1.5倍をとるものとする。基礎ぐいの支持力は割増しをしない。

3. 池状構造物

水道施設の主要なものは、沈殿池、ろ過池、配水池などの池状構造物と送配水管などの管路であり、なおこのほかに耐震の配慮の特に重要なものとしては、高架水槽、配水塔などの塔状構造物と水管橋がある。これらの耐震工法上の問題点について以下に池状構造物の場合より順次に述べる。

(1) 池状構造物のみならず、ほかの施設においても、基礎地盤が耐震的に重要であることが論をまたないことは、過去の震害例においても明らかである。そのため、まず良好な基礎地盤の場所を選定することが重要で、やむを得ず不十分な場合はくい打ちその他により完全な基礎工を施す必要がある。

(2) 明治、大正時代の施設はほとんどレンガ造または無筋コンクリート造であったので、関東地震⁵⁾においては横浜市野毛山浄水施設を初めとして大きな被害を受けたが、最近ではほとんど鉄筋コンクリート造であるので妥当な耐震計算がなされている限り非常に耐震的となっている。

(3) 伸縮継手は主として温度変化に対して設けられるが、耐震的にも有効である。普通その間隔は10~15mがとられてきたが、大きな鉄筋コンクリート造の池においてはその細分により、かえって力学的に弱体化するのでこれを防ぐため温度鉄筋をそう入して間隔を増大する傾向がある。特に配水池などの箱状構造においては長さ40m程度までならば伸縮継手を設けず全体を一体化することが耐震構造上非常に有利である。この場合、ひびわれの分散をはかるため異形筋を用いるとよい。また配水池の場合、覆蓋にかかる地震水平力をもたせるためなるべく側壁を利用し、かつ耐震壁を設けることが力学的に有利である。ただし耐震壁は地震時動水圧を受けるので適当間隔で孔をあけて動水圧を逃がすのがよい。伸縮継手の止水板は、従来は銅板が用いられたが、最近ではゴムまたはビニールが用いられている。

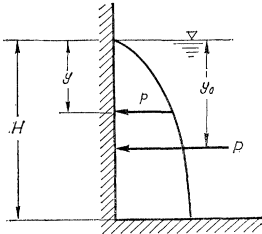
(4) 地震時には静水圧のほかに動水圧が壁体に働く。これを求める式としては、Westergaard²⁾の近似式が一般に用いられている。

$$p = \frac{7}{8} k w \sqrt{H y} \dots\dots\dots(1-a)$$

$$P = \frac{7}{12} k w H^2 \dots\dots\dots(1-b)$$

$$y_0 = \frac{3}{5} H \dots\dots\dots(1-c)$$

図-2



ここに、
 p : 地震時動水圧
 (深さ y における)
 k : 水平震度 =
 $\frac{\text{地震水平加速度}}{\text{重力の加速度}}$
 w : 水の単位容積重量
 H : 水深
 P : 地震時動水圧の合力
 (単位幅あたり)

y_0 : P の作用点の水面よりの距離

また、矩形水槽、円形水槽で水深にくらべて槽の長さが小なる場合は、Housner³⁾ の近似式がより近い値をあてえる。矩形水槽の場合は

$$P = \sqrt{3} k w H \left\{ \frac{y}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right\} \tanh \left(\sqrt{3} \frac{l}{H} \right) \dots\dots\dots(2-a)$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{3}} k w H^2 \tanh \left(\sqrt{3} \frac{l}{H} \right) \dots\dots\dots(2-b)$$

$$y_0 = \frac{5}{8} H \dots\dots\dots(2-c)$$

ここに、 l : 水槽の長さの 1/2, 他の記号は前と同じ
 また、円形水槽の場合には

$$p = \sqrt{3} k w H \left\{ \frac{y}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right\} \tanh \left(\sqrt{3} \frac{R}{H} \right) \times \cos \varphi \dots\dots\dots(3-a)$$

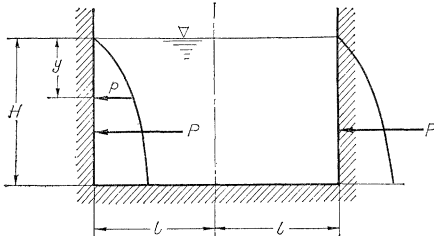
$$P = \frac{1}{\sqrt{3}} k W H^2 \cdot \pi R \tanh \left(\sqrt{3} \frac{R}{H} \right) \dots\dots\dots(3-b)$$

$$y_0 = \frac{5}{8} H \dots\dots\dots(3-c)$$

ここに、 R : 水槽半径, φ : 図示のとおり, P : 片側の半円弧の壁面に加わる動水圧の合力

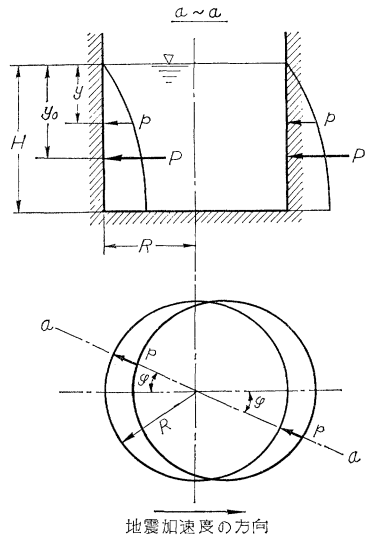
なお、2階槽沈殿池の下段においては、もし密閉され

図-3



地震加速度の方向

図-4



ると非常に大きな地震時動水圧を生ずるので、東京都長沼浄水場⁴⁾ の例のような水の逃場を設ける必要がある。

4. 管 路

(1) 水道管として最も一般的に用いられているのは、**铸铁管**であるが、従来は材質的に弱くかつもろいため、地震時はもとより平時においてもしばしば破裂または折損事故を起こした。その破損状況は大口径管では縦断的きれつによる破裂が主であり、小口径管では横断的きれつによる折損が主であることは、力学的にも当然であるが、関東地震⁵⁾ においては明らかに認められている。しかし、数年前よりダクタイル铸铁管が使用されるようになり事情は一変した。すなわち、これは铸铁に Mg を添加して铸铁組織内の黒鉛を球状化したもので、強度高くかつ数%の伸びを有する強靱な材質で鋼に近い性質を有し、铸铁管に革命的な進歩をもたらし、管体破損の心配はほとんどなくなり、耐震性はいちじるしく向上した。

鋼管は主として铸铁管の製作不能な大口径管および推進式鞘管内または水管橋などの特殊箇所用いられるが、材質そのものが強じんであるので溶接技術の進歩と相まって耐震性は大きい。

(2) 継手は铸铁管では従来は鉛継手であったが、最近ではゴム輪を押輪で締付ける型のメカニカル継手が一般に用いられるようになった。前者は地震によりゆるんでるう水の原因となり、関東地震⁵⁾ においては東京全市の約 2/3 はらう水を生じ、これを修理するのに約 1.5 年を要したほどである。また横浜市においてもほとんど全部の水道管を掘出して修理を行なった。後者は角度 2° 程度の可撓性を有しゆるみによるらう水は考えられないの

図-5 メカニカル継手断面

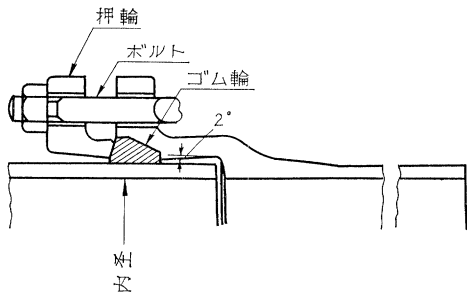
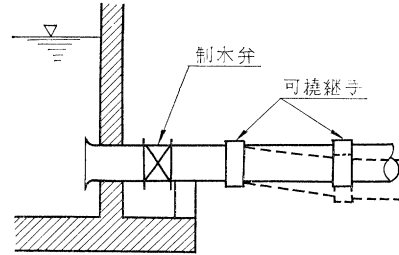


図-6



で、今後の新設管については地震によるろう水もいちじるしく減ずるものと考えられる。

フランジ継手は全く可撓性がないので地震時に応力的に無理を生じ破損しやすい。過去の震害例からみてもフランジ継手の被害が多いから極力使用をさける必要がある。

鋼管の継手は主として突合わせ溶接であり、可撓性、伸縮性はないので、いくら管体が強じんとはいっても要所にはテレスコピック型（メカニカル継手と同構造）などの伸縮継手を用いる必要がある。

P S シリンダー管も近年用いられる傾向にあるが、ゴム輪などを用いた可撓継手とする必要がある。

石綿セメント管の継手はゴムを用いた可撓継手が使用されているが、管の材質が特に折れに対して弱いので良好で一律な基礎地盤に布設する必要がある。

(3) 埋設管の土かぶりには耐震的には大なる方がよいともいわれるが、深すぎると福井地震⁹⁾の例のように震害の復旧がいちじるしく困難となるので、適当な深さとする必要がある。一般には道路占用規定に示されている本管 2.1 m、小管 1.2 m 程度が適当であろう。

(4) 配水池など構造物への取付管は、基礎工の差異による不同沈下が考えられ、特に地震時には相対変位が起りやすいので、図-6 のように可撓継手 2 個を用いる必要がある。

(5) 管路の不連続箇所（ポンプ、消火栓、制水弁、異形管との取付箇所など）には過去の震害例では被害が多いが、これは構造の不連続による振動性状の差異のため、応力的に無理が起きやすいためと考えられ、この前後には可撓継手を用いる必要がある。

5. 塔状構造物

水道施設のうち、配水塔および高架水槽は塔状構造物であるが、力学的にいずれも円形構造とするのが得策である。両者とも地震の影響を大きく受けるので、地震力を十分考慮した応力計算を慎重に行なうことと基礎工を完全なものにすることが特に必要である。なお、水道施設の耐震工法¹⁾ において高架水槽の設計震度は高さ 16

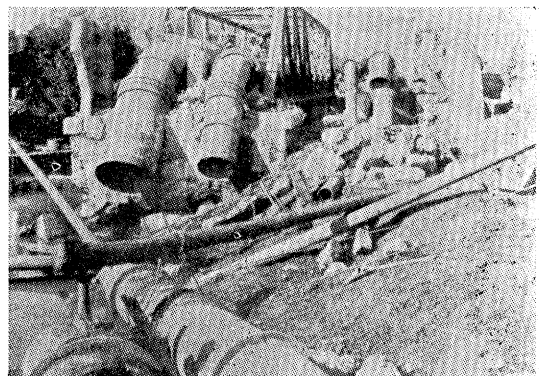
m までは前記 2. 項に定めた値とし、それより高い部分に対しては高さ 4 m を増すごとに震度をその 1/20 ずつ増すものとされている。

6. 水管橋

水管橋には添架方式のものと管体自身が桁をかねるものがあるが、特に長スパンでない限り一般に後者が経済的に有利であるので主として用いられている。

いずれの場合にも耐震上特に注意すべきことは兩岸取付部の立上り配管であって、過去の地震でも、この部が破壊された例が多い（たとえば、関東地震の横浜市宮川橋⁵⁾）。それでこの部は乙字鋼管を用い、橋台と一体化し、かつ埋設管との連絡は可撓継手による必要がある。

写真-1 横浜市上水道市外区ヶ谷町宮川水管橋の大惨状（この橋梁破損ため全市断水となる）



参考文献

- 1) 水道協会：水道施設の耐震工法，水道協会
- 2) H.M. Westergaard：Water Pressures on Dams during Earthquakes, Trans. Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 98, 1933, p. 418.
- 3) G.W. Housner：Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers, Bulletin of the Seismological Society of America., Vol. 47, 1957, p. 15
- 4) 萩原政男：東京都長沢浄水場の建設工事について，水道協会雑誌，301号，昭 31.10 p. 5
- 5) 土木学会：関東大地震震害調査報告 昭 2.
- 6) 杉戸 清：福井市水道復旧 応援隊報告，水道協会雑誌，168号，昭 23.10, p. 10

[筆者：正員 東京都水道局第三建設事務所工事課長]