

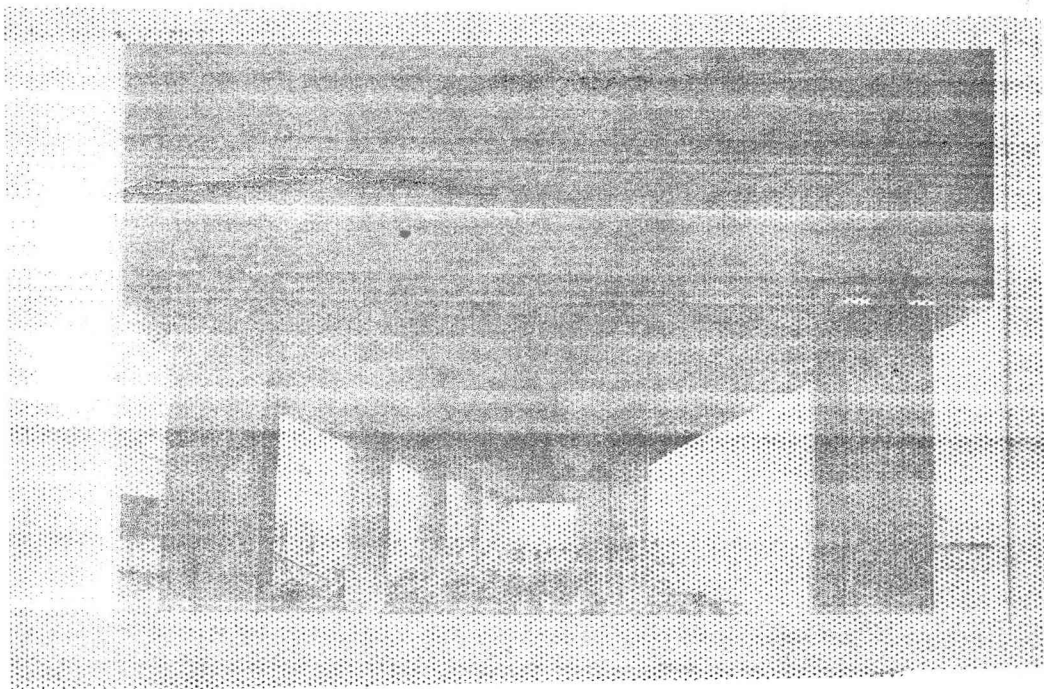
オイルダンパを用いた耐震構造

岡 本 舜 三 *

上 前 行 孝 **

§ 1 ま え が き

橋造物に対する地震の影響を少しでも減少させるために、オイルダンパを用いて積極的にその振動を減衰制御し、しかも従来橋梁の固定橋脚のみにうけさせていた地震の設計水平力を、可動橋脚にも分担させて、下部構造の経済的、合理的設計を行つた。この耐震型式をオイルダ



写真一 / 高速道路1号線115工区5全間連続桁橋

* 東京大学生産技術研究所

** 首都高速道路公団

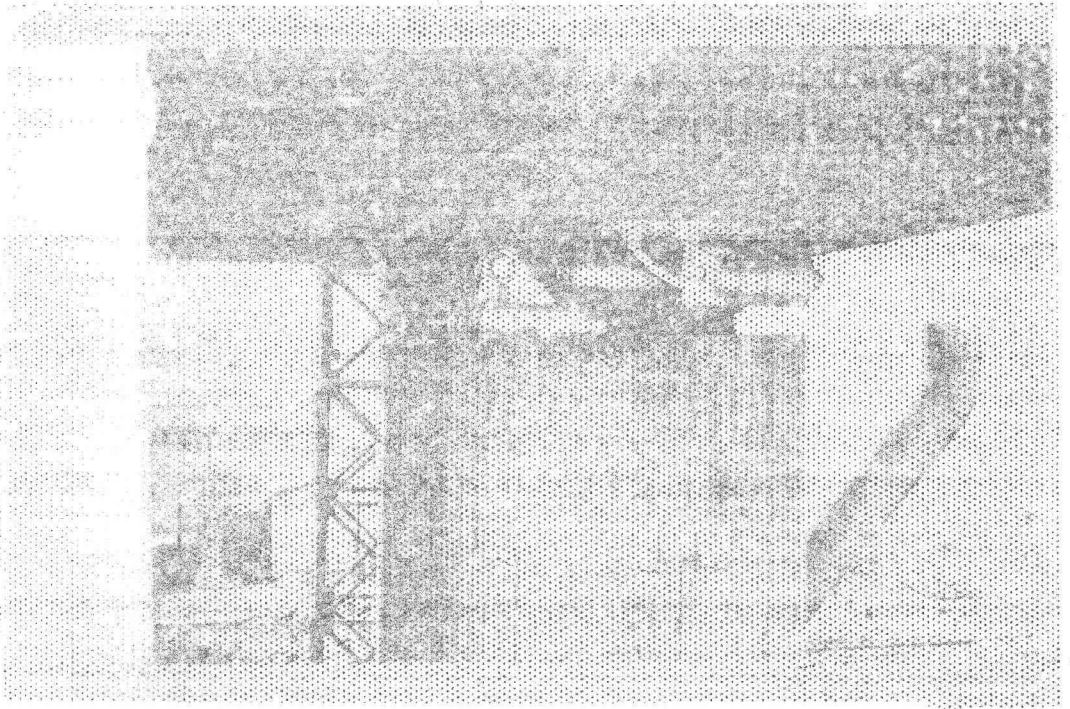


写真-2 115工区 オイルダンパ

ンバ方式と名づけた。

既に首都高速道路1号線における5径間連続の鉄筋コンクリート桁の可動支承部にオイルダンパを取りつけて、地震により桁に作用する水平力をより多くの橋脚に分担させた。本文はその基本的な考え方ならびに実施例についてのべたものである。

§ 2 基本的な考え方

オイルダンパ方式の構造は、所定の減衰力と強度をもつたダンパを可動橋脚頂部と橋体との間に水平にとりつけた構造である。図-1は首都高速道路1号線の115工区において支承部にオイルダンパを取りつけた構造を示す。この構造にすると、可動橋脚と固定橋脚の地震動に対する相対変位を減衰させ、同時に可動橋脚にもその時の水平力を分担させることができる。したがって、この方式では振動による固定・可動の橋脚の相対変位がオイルダンパの減衰効果

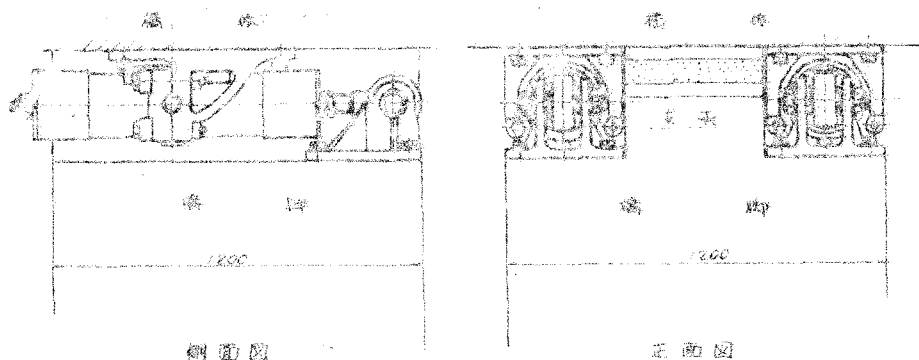


図-1 オイルダンパ取付図

を発生させるに十分な大きさであることを前提とする。しかし一般に減衰力の大きいオイルダンパを設置することにより、地震の際に作用する設計水平力を可動橋脚にも分担させて、固定橋

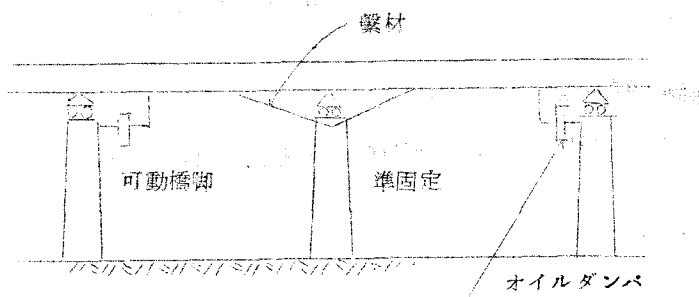


図-2 繫材とオイルダンパの組合

脚の負担を軽減することができるので、その所要断面を在来のもより小さくでき、したがってその剛性を小さくすることができる。もしこの固定橋脚の断面の剛性が比較的大きけれ

ば、パネなどにより弾性的に固定することによりその橋脚変位を大きくする必要がある。図-2はパネとしての繫材を用いて固定橋脚に相当する橋脚と橋体の相対変位を大きくとれる構造とした例である。

このオイルダンパ方式による連続桁などの固定橋脚の位置は、可動支承の摩擦抵抗の影響やダンパのピストンの長さを節減する意味から、桁の中央に近いことが望ましい。勿論オイルダンパは桁の温度変化や活荷重の影響による伸縮に対しては、その速度が遅いため殆ど無抵抗であるとみてよい。

§ 3 振動論的検討

図-3のオイルダンパ方式の連続桁において次のような仮定を設け、地震動に対する動的挙動を明らかにする。

1) 地震動は橋軸方

向の単弦運動とし、

その成分波の振巾

と振動数の関係は

Elcentro地震

記録と同一のもの

とする。

2) 垂直荷重は支承

脊で受け、横方向

の水平力も支承脊

で受ける。

3) オイルダンパは

可動橋脚頂部と橋

体とを水平に結びつけ、垂直荷重、回転の影響を受けない構造とする。

4) 構造物が弾性限界内で変形する場合について扱い、橋脚の質量を無視し、基礎の減衰作用

を考えない。

以上により図-3(b)の振動系が考えられる。

記号説明：

x_0 : 地震動による地表面の変位

x_1, x_2 : 可動・固定橋脚の支承部のそれぞれの変位

k_1, k_2 : 固定・可動橋脚のバネ常数

$C\alpha$: オイルダンパの減衰係数

M : 上部構造の質量

F : 支承脊に作用する摩擦係数 μ による摩擦力。等価粘性減衰として考える。

前述のように橋脚断面は従来のものより剛性が小さくなるとみられ、橋脚の重量は橋体の $1/10$ 以下となりうるので、振動計算では無視した。

以上のような仮定から次の微分方程式がえられる。

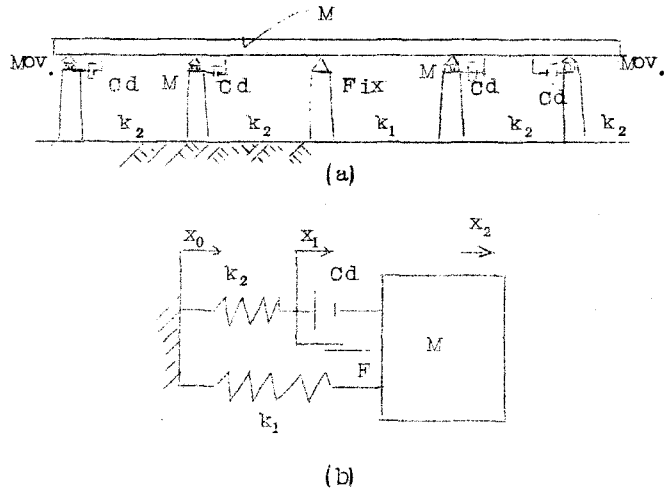


図-3 オイルダンパをつけた連続桁および振動系

$$M \ddot{x}_2 + C_d (\dot{x}_2 + \dot{x}_1) + k_1 (x_2 - x_0) + F = 0$$

$$C_d (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_2 (x_1 - x_0) + F = 0$$

Fは速度と逆の方向、半サイクル毎の矩形分布として

$$C_d = 4F/\pi\omega(x_2 - x_1)$$

したがって上の微分方程式は次のとおりとなる。

$$M \ddot{x}_2 + k_1 (x_2 - x_0) + (C_d + C_e) (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0$$

$$k_2 (x_0 - x_1) + (C_d + C_e) (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0$$

また、 $x_0 = u_0 \cos \omega t$, $\eta = \omega/\nu$, $\nu^2 = k_1/M$, $k = k_2/k_1$

$$\epsilon = \frac{C_d + C_e}{C_c} = \frac{\pi\omega C_d (x_2 - x_1) + 4F}{\pi\omega C_c (x_2 - x_1)} \quad \text{とおいて}$$

$$\text{さらに} \quad x_1 = u_1 u_0 \cos \omega t$$

$$x_2 = u_2 u_0 \cos \omega t$$

$$\text{とすると} \quad \frac{x_2 - x_0}{x_0} = u_2 - 1 = a$$

$$\frac{x_1 - x_0}{x_0} = u_1 - 1 = b$$

となり上の微分方程式は次式のようになる。

$$(1-a) \eta^2 \cos \omega t + a \cos \omega t + 2\eta\epsilon (b-a) \sin \omega t = 0$$

$$-k b \cos \omega t + 2\eta\epsilon (b-a) \sin \omega t = 0$$

上式を解いて固定橋脚の相対変位は

$$|a| = \left| \frac{x_2 - x_0}{x_0} \right| = \left[\frac{\eta^4 (4\epsilon^2 \eta^2 + K^2)}{K^2 (1-\eta^2)^2 + 4\epsilon^2 \eta^2 (1-\eta^2 + K)^2} \right]^{1/2}$$

また可動橋脚の相対変位は

$$|b| = \left| \frac{x_1 - x_0}{x_0} \right| = \left[\frac{4\epsilon^2 \eta^6}{K^2 (1-\eta^2)^2 + 4\epsilon^2 \eta^2 (1-\eta^2 + K)^2} \right]^{1/2}$$

したがって、ダンパピストンの変位は

$$|a-b| = \left| \frac{x_2 - x_0}{x_0} \right| = \left[\frac{4\epsilon^2 \eta^6}{K^2 (1-\eta^2)^2 + 4\epsilon^2 \eta^2 (1-\eta^2 + K)^2} \right]^{1/2}$$

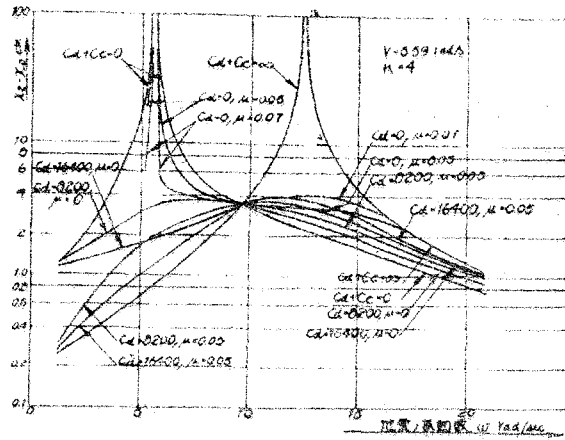


図-4 固定橋脚の共振曲線

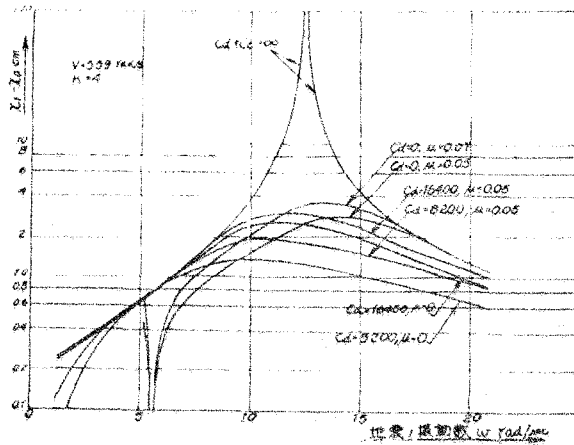


図-5 可動橋脚の共振曲線

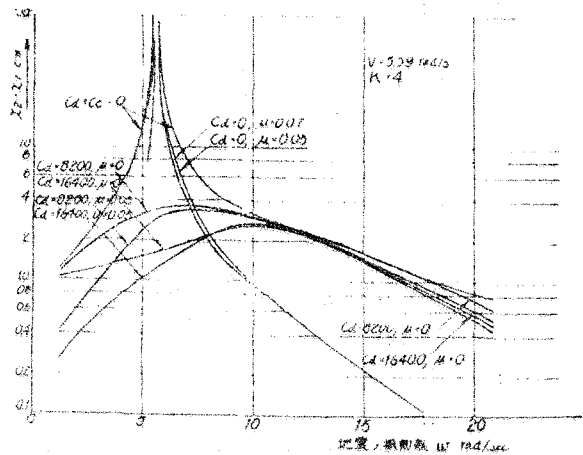


図-6 ピストン変位の共振曲線

となる。減衰常数 ϵ は振巾 ($x_2 - x_1$) および ω の函数であるから、上式において ($x_2 - x_1$) についての二次式を解くと

$$x_2 - x_1 = \frac{-16 \eta^2 \pi \omega C_d F (1 - \eta^2 + K)^2}{(1 - \eta^2)^2 K^2 \pi^2 \omega^2 C_c^2 + 4 \eta^2 \pi^2 \omega^2 C_d^2 (1 - \eta^2 + K)^2} \\ \pm \left\{ \frac{256 \eta^4 \pi^2 \omega^2 C_d^2 F^2 (1 - \eta^2 + K)^4}{(1 - \eta^2)^2 K^2 \pi^2 \omega^2 C_c^2 + 4 \eta^2 \pi^2 \omega^2 C_d^2 (1 - \eta^2 + K)^2} - \frac{64 \eta^2 F^2 (1 - \eta^2 + K)^2 - \pi^2 \omega^2 C_c^2 \eta^4 K^2 x_0^2}{(1 - \eta^2)^2 K^2 \pi^2 \omega^2 C_c^2 + 4 \eta^2 \pi^2 \omega^2 C_d^2 (1 - \eta^2 + K)^2} \right\}^{1/2}$$

上式から、地震の振動数 ω に対する振巾の関係をダンパの減衰係数 C_d をパラメータにして、解り易くするために、115工区の連続桁を例にして求めたそれぞれの共振曲線を図-4、5、6に示す。

§4 設 計 例

115工区の5径間連続桁 ($\ell = 5 @ 24 \text{ m} = 120 \text{ m}$, $W = 16.4 \text{ m}$) はこのオイルダンパ方式によつたので、立地条件から橋脚の設計断面が制約をうけているにも拘らず、設計可能となつたのである。上部死荷重 $3,000 \text{ t}$ 、設計水平震度 0.3 の水平力を $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ の脚柱断面を有する柱10本で分担した。

オイルダンパの最適減衰比 $\epsilon = 0.5$ 、橋脚のバネ常数 $k_1 = k_2 / 4 = 34.2 \text{ t/cm}$ 、支承の摩擦係数 $\mu = 0.05$ とすると、固定・可動のそれぞれの橋脚に与える振動数 ω に対する Elcentro 地震動記録の振巾を求めることにより、それぞれの共振曲線から変位を知ることができる。最大の変位を与える地震振巾により橋脚に作用する水平力を算定すると、固定橋脚に対して 110 t 、可動橋脚1基当りに対して 68 t となり、その分担率は 62% となる。この場合の橋脚の設計荷重は一応公団の設計規準から水平震度を 0.3 にとり、地震の水平力を 450 t と定め、固定橋脚に対し 130 t 、可動橋脚1基当りに対し 80 t とした。

図-7は115工区において使用されたオイルダンパである。この本体部分の1ヶ当りの設計水平力を 20 t 、部材の破壊に対する安全率を2とし、取付部金具、アンカーボルトについての安全率を4とした。1脚柱当り2ヶのダンパを支承脊をはさんで設置した。ダンパの減衰係数は $35 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}^2$ で速度自乗型である。計算は速度比例型として求めたが、計算機による精査の結果や模型実験においても速度比例として求めても大差ないことを確認した。温度

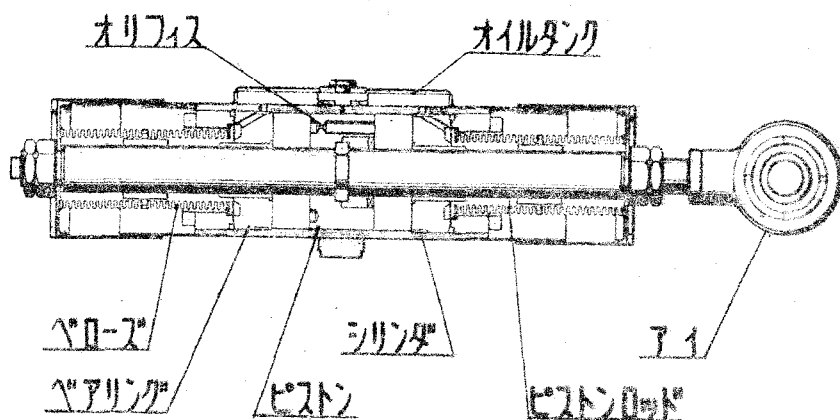


図-7 橋梁用オイルダンパー

変化と地震動に対するダンパの必要最大ストロークを±60mmとした。特に耐久性に重点をおいて防錆、防蝕に努力を払い、油の漏洩に対して再度改良を行い充分に確実なものをえた。なお性能試験として特

別の装置を作り、1ヶつつの減衰力を測定した。減衰力の許容範囲は±20%以内におさえた。この測定結果の一部を図-8に示す。ダンパ本体の価格は1ヶ当たり15万円である。

前述の様に設計上の仮定も大きい問題

であるが、オイルダンパをつけた構造物が何の程度計算通り振動するかということを確認する目的をもって、模型振動実験を行つた。

オイルダンパの設計および製作は萱場工業KKであり、この実現には同社の坂本、菊地両氏の御協力に負うところ大であつたことを附記する。

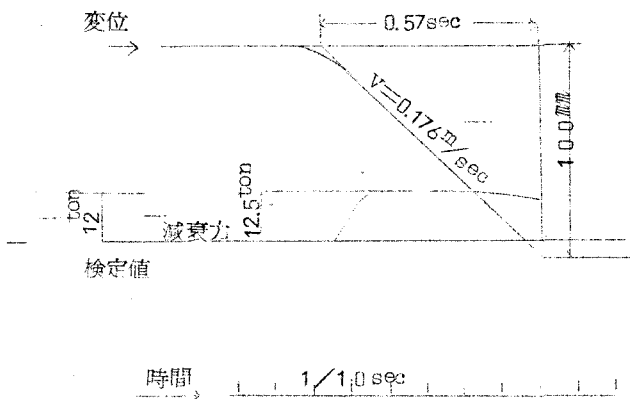


図-8 ダンパ減衰力測定結果

§ 5 結 語

オイルダンパの発展は最近目覚ましいものがあり、鉄道車輛・自動車その他産業機械などに用いられ、その技術的進歩をつづけている。

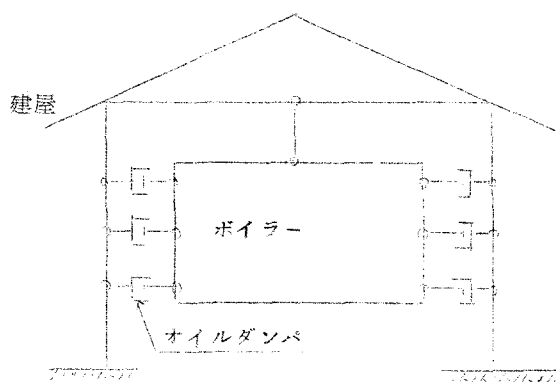


図-9 ボイラー用耐震ダンパ装着要領図

国鉄川崎発電所のボイラの支持方法として、オイルダンパが使用された。筆者らはこれに自信をえて、橋梁の耐震構造としてのオイルダンパ方式を実現した。

前述のような使用方法の他に、高架構造などのように固有振動周期の異つた連続桁が連続して架設されるような場合、桁と桁の間に挿入することも効果的である。また吊橋のような振動の大きい構造物に部材の適所にオイルダンパを装置し、振動を

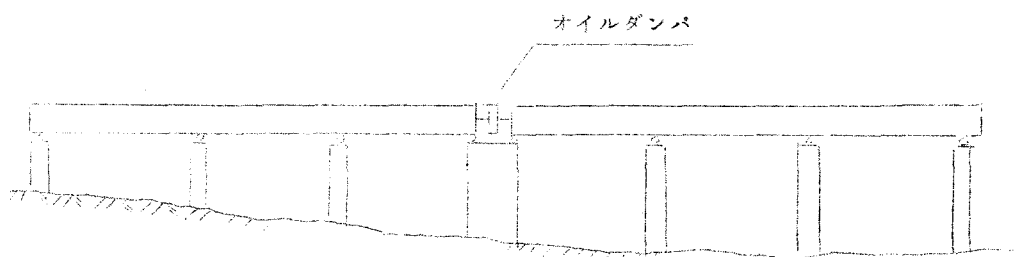


図-10 オイルダンパ方式の応用の一例

制御することも考えられる。さらに衝撃をうける構造物を保護する目的で使用すれば、設計荷重をてい減することは可能である。

さらに建造物としてコークス炉、煙突などに耐震的に使用される面が今後開かれるものと考ええる。

文 献

- 1) 上 前：「ダンパ方式による橋梁の耐震構造の提案」
「道路」 37年3月
- 2) 菊 地：「橋梁耐震用オイルダンパの計画および性能試験」
「土木技術」 37年3月