

論 說 報 告

第24巻第5號 昭和18年5月

耐 震 構 造 の 新 方 法

會 員 工 学 博 士 鷹 部 屋 福 平*

要旨 水平振動を受けて居る構造物の上層に制振装置を設けて、其の上に荷重を載せると、構造物は共鳴作用を起さず、振動は小さくなり且つ早くとまるといふことがわかつた。

本文はこの原理を応用して地震の水平動によつて被害を受ける構造物を耐震的にする可能性ある新方法“制震性耐震構造”を述べたものである。

1. 緒 論

構造学者の多くが今日まで努力して來た研究は、如何にすれば地震動に對して構造物は安全に抵抗し得るか、如何にすれば地震の水平動に對して破壊されない様に丈夫に造ることが出来るかといふことであつた。

換言すれば、揺れるだけ揺れるにまかせ、其の振動の繼續して居る間に倒壊を見ない様に、或は柔に、或は剛に、考究を續けて來て居るのである。

併し別に、免震構造といふ特別な構造法があつて、構造物と地盤との境界にローラーを置くとか、水に浮かせるとか、スプリングで力を抜くとかして地震力を構造物になるべく傳へない様な考案は施されて居るが、其の實行性に至つては施工上甚だ困難が伴ふ。

茲に、最近自分の研究室に於てやり出した研究は、全然其等の原理とは別個な立場から出發したもので、揺れをとめる装置である。又共鳴作用を起させない装置である。

構造力学が耐震構造に對して拂つて來た“より丈夫に”、“より強く”との努力は非常なる進歩を呈したと云つてよからう。今若しこの種の力学的研究に對して“古い進歩した研究”といふ呼び方を以つてするならば、“新しい今日の問題”は“如何にすれば振動を減殺することが出来るか”“地震動に對して共鳴作用を避けることが出来るか”“地震動の如き種々の週期を含むものに對して果して共鳴作用を完全に防止し得べき方法ありや”、若しこれ有りとなれば、今後に於ける耐震構造は其の新らしき領域に向つて開墾の鉄を入るべきであり、我が耐震構造はこれによつて救済の階段を一段昇ることが出来るのである。

今1本の垂直な棒が其の根元に於て固定せられ、その上端は全く自由なる状態に於て振動して居るものとする。この時其の自由端に手を以つて軽く觸れたとするならば、棒の振動は直に減衰せられ、若し振動を起す原因が根絶すれば其の振動は遂に靜止するに至る。

これと全く同様に、一つの構造物が其の基礎に於て固定せられ、其の屋上は自由なる状態に於て水平振動に支配せらるゝものとする。この時、其の屋上に偉大なる手を以つて軽く觸れたと考ふるならば、構造物の振動は直に減衰せられ、若し其の振動を生ずる原因が除去せられたりとなれば、この振動は早く靜止するに至る。然らばこの偉大なる手に代るべきものは何を以つてするか。

試みに今一つの立体ラーメンの模型を水平に揺り動かす得る振動臺の上に載せ、其の屋上に一定重量の錘とブリキ罐のふたと1袋の散彈を袋に入れたるまゝ、是等が完全に動かざる様縛りつけて固定せしめ、一定長の振幅にて

* 北海道帝國大学教授

単弦運動の水平振動を之に與へたものとする。斯くすれば、振動臺上のラーメン模型は其の振動數を次第に大ならしむることによりその振動状態は次第に変化し來る。而してそれが遂に共鳴状態に達するに至つて其の振動は激甚となり、立体ラーメンは転倒するか、破折するかと思ふばかりに激動を示すが、更に振動數を高めて一層速く振動せしむる時は次第に揺れは静まりて危険状態は既に通過したることを感ぜしめる。この實驗により吾々は共鳴状態の實に恐るべきであつて、その前後に於て振動數の少き時も、多き時も、何れも被害の甚だしく軽減せらるゝものなるを思ふ。

實際の地震にありては振幅は常に一定にあらず又加速度大なる卓越週期の存在するありて事情は複雑多岐に互るが共鳴現象の恐るべきは熟知のことに屬する。

然るに今、このラーメンの屋上に彼のブリキ罐のふたを仰向けに置き、その中に彼の散彈を袋より出して散布し、簡易なるボールベヤリングを造り、その上に前記の錘を載せ、このローラーの上に自由に転動し得る様にし、前回同様振動せしめて見る。

屋上に載せられたる一切の重量は其の總量に於て、前回も今回も等量であるが、前回にありては一切を固定し、今回に於ては転動を許すことに大なる差異がある。

斯くの如くして、吾々は詳細に振動の様子を観察するに、振動數の増減に關係なく、共鳴現象を誘引することなく、此の簡單なる装置が振動を吸収してしまふことのできるに驚くのである。

即ちこの制振装置は、先きに吾々が要望したりし偉大なる手の役目を果すものである。

而してこの實驗に於て、吾々が經驗したることは、全然荷重なきこの立体ラーメンがその共鳴状態に於て示したる振幅は上記の全荷重を載せて固定せしめたる場合の共鳴の振幅よりも大なりしことである。而して特に注意を牽きたることは振幅の大なることが構造物を転倒せしむる要因をなすべきを暗示したることである。

是等の研究は未だ、僅かに緒につきたりと云ふに過ぎざるものであるが、水平地震動により被害を受ける構造物をして耐震的ならしむるの可能性あることを思はしめるものである。

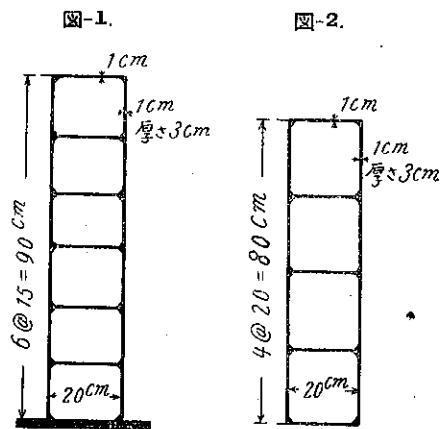
上述の實驗は活動寫眞として撮影後日詳細に發表の機會があると思ふが、茲には主として自己振動に對する制振現象を平面ラーメンに就て報告し、其の實驗の一端を述べることにする。

2. 模型ラーメンの固有振動と載荷條件

實驗用の模型ラーメンは 圖-1 に示す如きものと、圖-2 に示す如きものを用ひた。前者を A 種ラーメンと呼び、後者を B 種ラーメンと呼ぶことにする。何れも 齒科醫用の良質石膏にて製作し、模型ラーメンの振動破壊用に曾て使用したものと同質のものである。*

而して其れ等の固有振動を紙に描かせる爲には鏡を用ひて光學的に撮影し之を擴大した。

荷重のかけ方は種々やつて見たが、振動を減衰するに効果のある方法は、散彈を用ひてローラーに代用せしめ、ボールベヤリングに役立たしめるもので其の他の方法は効果がなかつた。



* 震害位置に關する剛筋高層ラーメンの實驗的研究と補強 (建築學會論文集第 1 號大會號昭和 11 年) ラーメン模型の振動破壊實驗 (日本學術振興會第 14 小 (耐震構造) 委員會報告第 1 號)

併し順序として実験を試みた載荷条件を挙げて見ると次の様である。

模型ラーメンの梁の上に直接荷重をのせて見て其の固有振動が如何なる変化を受けるかを観測して見た。吾々がやつた実験では週期は延び振幅も大きくなつた。この荷重は最上層から次第に下層にかけかへて見た。又其の總量に於ては同一量となる様にこの荷重を各層に分配してかけて見た。

又同じ荷重を糸をもつて懸垂して其の影響を調べて見た。これには糸 2 本を以つて兩方から荷重を懸垂したものと、その中心を糸 1 本にて懸垂したものとをやつて見た。又荷重を各層に分配してかけて見た。併し是等は實際問題として考ふる時に實行困難なる點も考へられ、且つ危険性もあるので單に物理的の性質を研究するに過ぎないものではあるがやつて見た。其の結果は振動を減衰さすことに對して効果的ではなかつた。

次にシリンダーをローラーに用ひその上に荷重をのせて見たがシリンダーに働く摩擦は相當に大なるもので、ローラーの役目を豫期した様には果さなかつた。以上述べたものに対する実験結果の概要は建築雑誌に發表の豫定であるが、其れ等は振動減衰性を要求する目的には重要でないから、茲にはこの模型実験が振動減衰性をよく示してくれた二つの例に就て述べる。

其の 1 は散彈それ自体の移動振動によつて固有振動が減衰を受けたことであり、其の 2 は本文の主目的をなしたところの少量の散彈とその上に荷重をのせた装置によつて著るしく振動は減衰せられ、明瞭に且つ急激に揺れがとまつたことである。

図-1 に示した A 種ラーメンに對しては是等の散彈による振動実験はやらなかつたが 12 種の異なる載荷条件の下に其の週期と減衰狀況とが観測せられた。

又 図-2 に示す B 種ラーメンに對しては 8 種の異なる載荷条件の下に其の週期と減衰狀況とが観測せられた。

図-3. No. 161 (3)

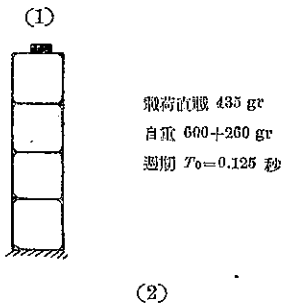
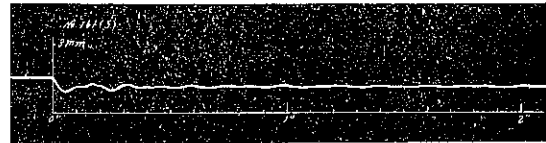
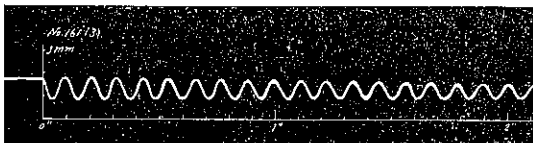
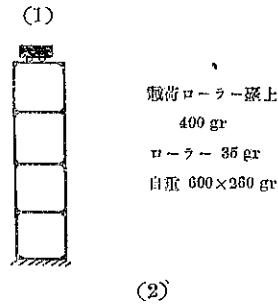


図-4. No. 161 (5)



即ち、散彈 165 gr を最上層にブリキのふたの上に載せて見た時には此の B 種ラーメンの振動継続時間は 0.45 秒位であつたが 165 gr の固定荷重を直接最上層に載せて縛りつけて置いた場合には振動継続時間はこの 10 倍以上にも及んだ。又散彈 35 gr の上に 130 gr の錘をのせて其の總重量が同じく 165 gr となる様にしてやつて見たところ振動継続時間は 0.6 秒位で急激に揺れはとまつた。

図-3 に示すものは、435 gr の荷重を直接模型ラーメンの最上層にのせて其の固有振動曲線を鏡で描かしたも

のであり、図-4 に示すものは散弾の重量を 35 gr とし、その上に 400 gr の荷重をのせたもので振動が忽にしてとまることを図から知ることが出来る。

3. 模型ラーメンの強制振動と載荷条件

強制振動を與へる振動臺は任意振幅と週期とを調節し得る様製作せられ、單弦運動による振動が與へられる。此の實驗に使用した模型ラーメンは前記の A, B 兩種のものとは全然材質を異にし鋼製 図-5 に示す如き 3 階 3 張間の立体ラーメンである。

載荷条件は荷重を固定した場合と散弾の上に載せた場合と無載荷の場合とに就て觀察して見た。

荷重の總量を一定する爲に散弾は袋に入れて初めは縛りつけ、その中の散弾が個々に動かない様に、又荷重がブリキ罐のふたの上で滑動しない様に充分の注意を拂つてその固定条件の場合に實驗した。荷重には文鎖を用ひた。

振動減衰實驗に際しては、其のブリキ罐のふたの中に散弾を散布しその上に彼の荷重の文鎖を載せた。

荷重固定の場合に週期を加減して共鳴状態に置くと鋼製ラーメンは其の頭を左右にふつて今にも破折しそうに揺れるが、制振設備即ち振動減衰の方法をとつて見ると振動は實に靜かになる。勿論共鳴の憂はないのであるが週期を振動臺の全能力に亘つて変化せしめ檢して見るに振動は常に靜かである。

然らば荷重を加へることによつて無荷重の場合よりも大なる振幅は起らないかを檢して見た。荷重固定の場合の共鳴の時の振幅は、無荷重共鳴に際しての振幅よりも小さい結果を示し、ラーメンの頭が軽い爲に餘計に揺れるかの如き感を呈した。

吾々は石膏ラーメンの固有振動に於て無荷重の時と、荷重固定にて載荷した時との、二つの場合を比較して、荷重を加へることによつて固有振動の振幅増大を経験して居つた爲に、この強制振動に於ても無荷重の場合の方が振幅の小なるべきを想像して居た。然るに實驗は上述の如く意外なる結果を示したのである。

然し乍ら固有振動は與へらるべき週期がそのものに固有にして自由に變ぜしめ得べきものにあらず、本強制振動は共鳴すべき週期を自由に與へしめ得べき點に大なる相違を示すものであつて、同じ週期に於てはこの實驗も亦二つの全然相反する結果を示すものであつて、(1) 固定荷重にて共鳴せしめ、その時同一の週期にて荷重を除去すれば振幅は縮小せられる。(2) 之と反對に、無荷重にて共鳴せしめその時同一の週期にて固定荷重を附加すれば振幅は又縮小せしめられる。このことは一つが常に共鳴状態を比較の基本にとるものなることより自明の理である。是等の數量的なる關係は後日の報告に俟つこととするが散弾を用ひてローラーとしたる場合には振動は常に靜かであつて此の爲に大なる力が働くとはいふ考へられない。

4. 共鳴防止装置と制震性耐震構造

上記の實驗に於てわかる如く、或るべく上層部の荷重又は上層部構造物の自重の一部を球群の上に載せるだけの設備にて、極めて顯著なる制振作用を呈する。従つて構造物の週期と同じ週期の強制振動を與へても共鳴はしないのである。

即ち荷重それ自身を球群の上に載せるだけのことによつて極めて有效な Damper の役目をつとめるのであつて、實際の既成建築物へ後から応用することも容易と考へられ、之によつて耐震的構造を作り得る暗示を與へられる。

図-5.

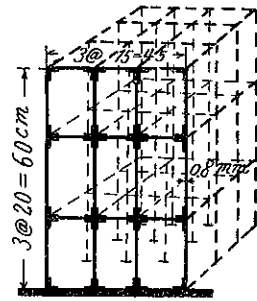


図-6 に示すものは、これが原理を示す略図であつて、(A) は振動する 構造物を示し其の基礎は地盤に 固定せられ、(B) は相當の重量を有する荷重を示し、(A)、(B) の間には、皿の上にのせられた球群 (R) の幾組かを設備する。即ち (B) は (R) と共に振動を減衰せしむる制振体を構成する。

5. 結 論

模型ラーメンの固有振動竝に強制振動に對する 載荷状態の影響を實驗的に研究したる結果次の結論を得るに至つた。

- (1) 基礎に於て固定したラーメンを振動すると 4 階又は 5 階位の高さのものでは屋上はよく揺れる。揺れて居る屋上に手を加へると振動は減衰し、振動を起す原因が継続されなければ揺れは遂にとまる。
- (2) 實際の建築物にあつては、斯くの如く屋上にあてる手は“偉大なる手”でなければ振動を減衰せしめたり、とめたりする効果はない。この偉大なる手の役目をなすものが制震装置である。
- (3) この制震装置には球群を水平に皿の上に並べ、水平盤において其の上に相當な重量の荷重を置く。図-6 に示すものは其の 1 例である。この荷重にはストックの荷物、建物の一部の死荷重は適して居る。
- (4) 屋上にストックの荷物を置く場合には、球群の上に水平な床版を置きその上に載せて置くことにより振動は共鳴を引き起さない。又早くとまる。
- (5) スtockの荷物の代りに屋上附近の建物の一部の死荷重を之に利用することも出来る。これには、それに相応した装置と設備とを要するが原理は 図-6 の様である。
- (6) 荷重を球群の上にのせる設備は屋上に近い程先づ普通の建物では効果的であるが、非常に高い建築となると最もよく揺れる層に置くのが有効と思はれる。
- (7) 地震動の如き來るべき方向の不明なる振動に對しては、球群による簡易ボールベヤリングは最適である。
- (8) 如何なる週期、如何なる振幅に對しても、それを軽減することに効果的である特徴がある。
- (9) 木造家屋に就ては目下研究中である。本實驗は今緒に就いたものであつて今後廣範圍に互つて、この種の研究が残されて居ることに気がつくが、この人工の“偉大なる手”が動機となつて震害になやむ我國の構造物がいくらかでも救はれるの日が來るならば幸甚と思ふものである。

地震學研究の發達と共に地震の本体は明かにされる日は來るであらう。併し未來永劫地震を亡ぼしてしまふことは不可能である。揺れ悪い様に空から支へることを案出したものがこの制震性耐震構造である。

最後に筆者は本研究に對する日本學術振興會の援助に對し茲に深甚の謝意を表し、本實驗に際して甚大の助力を與へられたる北海道帝國大學助教工學士酒井忠明君竝に同助手岡本増成、松坂秀雄、小野壽惠吉の 3 君に對し深謝の意を表する次第である。

図-6.

