

建設省國庫補助住宅および文部省學校建築建設に關聯し當研究室が主としてその鐵筋コンクリート構造について基礎的ならびに實際的な構造設計資料を提供し設計計畫に寄與すること數年、鐵筋コンクリート構造の理論ならびに實驗的研究の貧困が最も痛感されるのは「かべ」の問題である。従つてこの數年當研究室の研究對象の主なものはこの「かべ」の解明と實際構造物への應用にあつた。これら總合研究は他日生研報告に發表するため目下執筆中である。よつて本稿ではかたくなるしい理論や實驗報告をできるだけ抜きにして鐵筋コンクリート構造における「かべ」の問題の解説を心がけた。

なお本稿は主として建設省各型アパート構造設計に關聯した各種の研究を中心として田治見宏が執筆しこれに多少の手を加えたものである。従つて本稿の具體的資料の大部分は田治見擔當の研究成果の發表と見てよい。(坪井善勝)

まえがき

「かべ」という言葉には何かしら重々しいひびきをたたえ、打つてもたたいてもその絶望的な抵抗をあざけ笑う牢獄を聯想させる。サルトルが現代を諷していつたものは刑場の「かべ」であつた。たとえ「カーテン」という輕快・優美な言葉におきかえたとしても「鐵のカーテン」という皮肉な使い方の中にはやはり本來の意味がまざまざと織込まれており、ほとんど宿命的な性格を象徴している感がある。

しかし近代化された壁のおもてを素直に見て行くと、中世の石で積みあげた冷酷な構造物とは打つて變つた、如何にも新鮮な、そして人間生活には必要缺くことができないいくつもの要素を擔つていることが解るのである。すなわちわれわれの生活・活動に秩序と順序を約束する間仕切りとして、自然の苛酷さに對しわれわれの環境をいつまでも快適に守つてくれる圍いとして、またわれわれの情操に快感を與える建築藝術の一素材として、有する價値は廣汎である。

従つて壁の本當の意義を知るためには、柱や梁のようなものと違つて上に述べたあらゆる面から考察しなければならない。本文ではこれを昔ながらの意味に、壁(特に鐵筋コンクリート壁體)の力學的な性質しか解剖していない。しかし壁がいかに強いかということ認識し、設計に當つてその使用法を吟味し、いたずらに牢獄化して行くのをふせぐことは極めて大切なことである。

かべ

坪井善勝・田治見宏

壁のもつ力學的性質とは

壁には木造、石造、鐵筋コンクリート造、その他最近色々考案されている各種の輕量壁體等種々の類別はあるが、これが構造體としての取扱いを受ける場合、どれもが有している性質をぬき出すことはさして困難ではない。それは横力(もちろん面内の力)に對して、すなわち剪斷力に對して強いということである。この性質はわが國では特に強調されている。なぜならばわれわれの構造設計は建築本來の目的である積載物を支えるというよりも地震または台風に對していかに耐え得るかということによって大部分設計されているので、壁のこの性質は他部材の負擔を輕減するに大いに役立つからである。

元來柱というものは鉛直力を支えるものであつて、横力に對しては極めて柔弱である。これに反し壁は鉛直力を受けるには煉瓦、ブロック造の場合を除いて普通用いられないけれども横力に對しては非常に強い。すなわ地震や台風に際してすぐれた能力を發揮する。ところでこの強いということには二通りの意味がふくまれている。一つは變形しにくい、すなわち剛性が高いといふこと、他は破壊しにくいすなわち強靱だということである。この兩者は全然別のもので、例えば無筋コンクリートの壁は剛性は高いが、強度はコンクリートの引張強度で支配されるから強靱とはいへない。どころがこれに鐵筋を入れるとがぜん破壊しにくくなる。従つてこの場合強さは鐵筋量で定まるといつてよい。

このように強いということに二つの意味をもつているから、構造的に壁を使用する場合も二通りの方法が出てくる。

剛いという性質を用いたもの——壁構造

強い " " ——耐震壁

が代表的であろう。

しかしいづれも抵抗するものは地震または台風、特に地震に對してであるから、この二つの性質は地震が起つた時どんな働きをするか、またどんなように違うかを調べることは壁を理解する上で根本をなすものである。そのためにはまず地震とはどんなものか理解しておく必要がある。

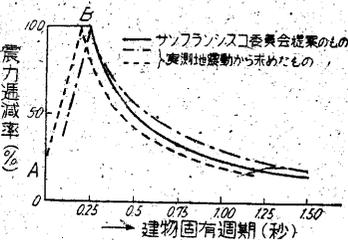
地震とは

地震の激しさを最も適確に示してくれるものは構造物の被害統計と地震波動の記録であつて、特に後者は色々

な意味で重要なものであるが、不幸にしてわが国では今まで破壊的な地震動の記録はほとんどとられていない。だから現在のところ地震の強さを知る唯一の手がかりは被害統計である。しかしこれも大部分は木造の非耐震的な家屋であつて、鉄筋コンクリート造のようにならず耐震的手法をどこしてあるものはごく僅少であるため統計資料にのらず、そうかといつて波動記録がないため個々の破壊に對して満足な解析ができず、地震という唯一無二の大實驗にめぐり合つても耐震構法にとつては今までそれ程大きな改善の足がかりが興えられなかつたのは残念である。アメリカで行われているように重要建物に強振計を設置することが望まれているわけである。

さて地震というのは波動であるから、それを表わすものは大きさ(加速度振幅または變位振幅)と周期である。同じ大きさのものでも周期が違つて建物におよぼす影響は異つてくる。なぜならばもし建物の周期と同じ周期の波であれば共振現象によつて建物は異常に大きな振動を受けることになるからである。そして地震の被害というのは單に地震力の大きさを表わすのではなく、それが建物におよぼした効果を示しているのである。それではこの効果はなんで表わせるかという、端的には建物の感應曲線に示すことができる。感應曲線とは地震動に對して建物が受ける最大震力を色々の周期の建物について求めたものである。もちろん建物の震力というからには減衰性能にも関係するが、普通用いられているのは建物を非減衰の一質點系、すなわちその重心に全重量が集まり減衰しないと假定した場合の感應曲線である。従つて逆だといつて複雑な地震動を簡明に表わす方法とも見ることができよう。

最近サンフランシスコの横力委員會で決定した震力係數にもこの考え方が用いられている。ここに震力係數とは、建物の受ける地震力が周期によつて、具體的には高さによつて異なることに目をつけその間の關係を表わしたものでわが国では未だできていない。この委員會ではいくつかの實測地震動記録から計算またはその他の方法で上記の感應曲線を求め、その結果を總合して建物の震力係數として周期 0.25 秒を最大



第 1 圖

(震度 0.06) におさえ 0.75 秒までの間を C/T 、 C は常數、 T は建物周期、とすることを提唱している。この場合建物の減衰係數は非常に小さいとして無視している(建物の周期は通常 $0.07 \sim 0.09 \times$ 階數といわれている)。この震力係數を用いると絶対値そのものほともかく、高層になる程周期が延び従つて震力係數が減るので、高層

建築の設計には非常に好都合である(第 1 圖)。

そこでこの問題に少し突込んで見よう。第 1 圖を見てまずいえることは、この地震動には 0.2~0.25 秒以下の周期の波がほとんどふくまれていないということである。おそらくこれらの周期は地盤の固有周期であろう。第二は A 點は建物が非常に剛な場合の震力を意味するから、A 點は地震加速度の大きさそれ自身を表わす。またピーク B 點はこの數倍にもおよぶから實は共振状態に入つている。また B を超えてもそれ程急激には減少していないからすべてが共振で考えられる状態にあつたといふことができる。以上のことを一質點の振動方程式で考えて見ると、

$$\frac{W}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + kx = F \sin \phi t \quad (1)$$

W = 建物の重量 F = 地震力の大きさ k = 建物の剛性 ϕ = 地震力の振動率 x = 建物の變位

これから共振した時に建物に働く力を求めて見ると、

$$kx = \frac{F}{2} (\sin \phi - \phi t \cos \phi t)$$

數波後では右邊の括弧内の第一項は第二項にくらべて非常に小さいから、

$$kx \approx -\frac{F}{2} \phi t \cos \phi t$$

この最大値をとると、

$$kx = \frac{F}{2} \phi t = \frac{\pi Ft}{T} \quad (2)$$

T は共振時であるから、地震の周期すなわち建物の周期または卓越的な地震が繼續している時間で、或る一つの地震動についてはどんな周期の波についても同一と見做し得る。するとこの(2)式から次のことがいへよう。地震動とは強さ F が一定で、建物に同調し得るあらゆる周期の波が混在しているものとすれば、建物に働く力は T に逆比例する。

これは偶然にも前記委員會が提案した曲線と一致する。だから逆にアメリカで問題とされた地震動は上記と同じ傾向を多分に持つた波であつたといつて差支えなからう。

わが国では残念ながらこれに匹敵する位の大きな地震動の加速度記録がないので(最大約 300 ガル)、なんとも手の下しようがないが、遠地性の地震はこのような性質を多分に持つていると思われる。只々わが国では時々經驗するように、衝撃的な地震、いわば近地性地震といつたものがあり(例えば、昭和 24 年 12 月、今市地震)これは二三の衝撃的な波動が押寄せ、後は地盤の固有周期だけ残るといつた、周期が特定のものにかぎられている場合である。しかしこのような近地性地震は大體山岳地帯のみに起る。この場合は地震の感應度というよりも地震力そのものの大きさが支配的であつて、従つて壊れ

方も前者の遠地性地震とは異なる。例えば、福井地震（昭和 23 年 6 月）の時の煙突の損傷箇所を調べて見ると、震央付近では衝撃地震を受けて地面に近い所で折れているが、遠くなるに従つて折損位置が高くなつて最後には約 6 割にも達していた。

ところで前に述べた地震波の建物に対する効果は (2) 式によると實は何回波が加わつたかということになり、地震動の継続時間という値がクローズアップされてくる。事實、地震継続時間の多少によつて家屋の受ける被害率が異なることは統計の上にもはつきりあらわれている。第 3 紀層とか沖積層の剛い地盤の上にあるものは、地震波が押寄せてもスット通り抜けてしまうので被害率は小さいが、沖積層とか埋地にあるものは地震波がくるとそこに留まつて、とくろを巻いていつまでものたうち廻るので、被害率は非常に大きい。この場合沖積層といつてもこれだけの強大な地震エネルギーを貯えられるだけの層の厚さが必要で、地形にもよるが約 30 m 以上といわれている。

以上いささか理窟めいたことを述べてきたが、もちろんこんな簡単な理論だけでは役に立たないし、まだまだ分らぬ點が多々ある。そこで實際に設計する場合には、假定する地震力を上記の理窟とは無關係に、今まで起つた地震の被害統計から色々調べて、この位の横力を建物に靜的に加えて耐えられるなら、まず普通の地震であればカバーできるだろうということを押えている。しかしこの方法は前にもいつたように統計が木造家屋にかぎられているので、どうしても木造建物に主眼がおかれ、鐵骨造または鐵筋コンクリート造等はそれからの類推によつては仕方がない。このことは前に述べた建物周期による震力係数の遞減といつたものを考慮することができず、高層建築の設計の場合には特に不利である。震力は通常、加速度の形で表わす方が都合がよいので、これを建物質量で割つた「震度」というもので表わす。この震度は建物の安全を確保する意味から特に法律で定められておりそれは大體次のようなものである。

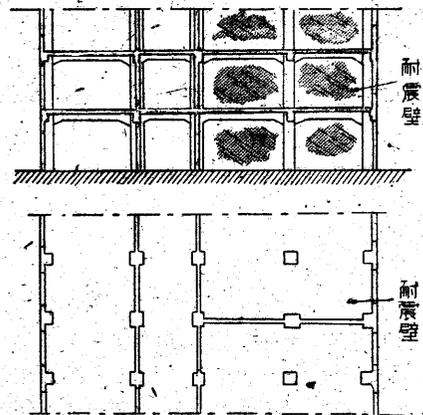
普通の建物：0.2（高層建築の上階または屋上突出物に対しては値を増す）。

軟弱地盤にある木造：0.3

獨立煙突、屋上突出物：0.3 以上

耐震壁

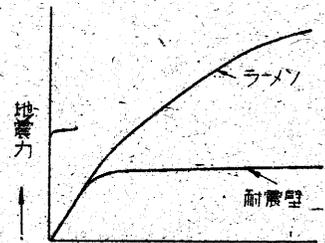
高層建築にあつては骨組だけではどうしても地震に耐えられない。そのため架構（ラーメン）の中に壁を入れて、それに地震力の一部を分擔させることがある。このような壁を耐震壁という（第 2 圖）。耐震壁は特にその目的のためだけに設けることもあるが、多くは建物の設計上必ず要する壁（例えば、外壁、間仕切り壁）を少しく厚くし、特に鐵筋を多く入れて耐震壁とする場合が大部



第 2 圖

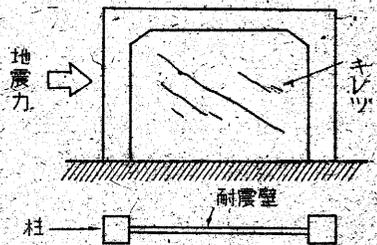
分である。なぜ鐵筋を入れると耐震壁になるかは次の様に説明し得よう。先に述べたように壁の剛性は非常に高い。これをラーメンと比較すると通常用いられている耐震壁の剛性はラーメンの剛性の 30~60 倍である。

これに對し強度はラーメンには澤山の鐵筋または鐵骨が入つているので



第 3 圖

10~20 倍である。この關係を今圖に書いて見よう（第 3 圖）。その際理解しやすくするため、耐震壁の剛性と同一値になるだけのラーメンの數を束にして、これ等に荷重をかけると、始めの内は荷重-變形關係はほとんど兩者とも同じ直線を書くが、しばらくして耐震壁はほぼ耐力に達して壁に大きな龜裂が入る（第 4 圖）。この時もし鐵筋が入つて



第 4 圖

と破壊する。しかしこの破壊の時期はラーメンにとつてはあまりにも早過ぎ、ラーメンは未だほんの僅か抵抗したに過ぎない。従つてラーメンがその耐力を發揮し始めたときには壁はすでに破壊してまつて、建物全體の耐力の増進にはなんら役立たなかつたことになる。

もし壁に適當な鐵筋が入つておればどうだろう。鐵筋は降伏點後も、いくら伸ばしても切れないという性質を持つているから、壁は少くともその龜裂發生時の耐力を落さずに變形だけがどんどん進む。従つてラーメンが終局の耐力に達した時も、壁は充分に能力を發揮すること

ができ、地震に抵抗したといえるのである。そのため必要とする鉄筋量は壁の断面積との比で表わして 0.25~0.3% 以上である。

いうまでもなく構造物は荷重を地盤に伝える仲介物である。耐震壁としてもこの原則には變りがない。耐震壁は強度からいうと柱何十分の剪断力に耐えられるから、これを十分に働かせるには、このかり集められた地震力を完全に地盤に伝えるよう基礎を設計することが大切となる。この基礎の設計は地盤の剛さおよび地耐力によって決まってくるが、これにはおのずから制限があるので、耐震壁が建物にいちじるしい耐震効果を與えるからといって、むやみに壁厚を大きくすると、今度は基礎の方が耐えられなくなり、その結果は剪断力を分擔するというよりも、あたかも剛體のように基礎ともども廻轉してしまう方がひどくなってくる。この剛體としての廻轉は後に壁構造の所で述べるが、建物全體が均等に剛である場合はそれはそれでまた耐震効果を持つているけれど、普通のラーメン構造においての耐震壁のように一個所に剛な部分が集中している場合は、地盤が柔いと異常に廻轉を起してかたむき、がえつてラーメンに悪い影響を與えてしまう。この代表的な例は福井地震での大和デパートの崩壊である。だから壁厚は基礎が耐えられるようできるだけ薄くしてあまり一個所で地震力を受けとめるということをし、上述の壁の最も合理的な動きに合致させることが賢明である。耐震壁の負擔剪断力、壁がラーメンにかこまれているから、大體一樣な剪断力がかかっているととしてコンクリートの引張強度から定めてよい。またこの耐震壁には開口があつても差支えなく、ただし負擔剪断力は減少する。その割合は開口が小さい内は、開口周長と壁の外周長との比に比例するが、大きくなると次第にそれより増加しラーメンとしての性状に近づく。この際開口四隅は非常に早くから龜裂が入り、それがラーメン部材近くまで延びると上記の耐震壁の意味を失うから、ここには是非とも斜の補強をしなければならない。そのために要する必要鉄筋量はその總断面積Aで表わすと

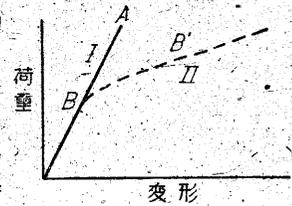
$$A = \frac{\text{開口對角線長さ}}{2} \times \text{壁厚} \\ \times \frac{\text{コンクリート引張強度 (約 20 kg/cm}^2\text{)}}{\text{鐵筋強度 (2400 kg/cm}^2\text{)}}$$

となる。

さてこのように設計された耐震壁はまた建物に粘りと振動の減衰性を與える。粘りというのは餅のようにいくら伸ばしても中々切れない性質で、これと反対のもの脆いという。この両者に荷重を加え、それに対する變形のグラフを書いて見ると、第5圖でIは脆いもの、IIは粘いものを示す。この異つた二つの材料も、もし破壊荷重が同じなら、静かに荷重をかけた場合にはならん耐

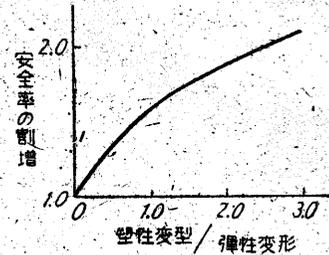
力に相違を表わさないが、地震のような振動荷重をかけた場合は、この兩者の耐力が大いに違つてくる。

今試みに、この兩者に同じ大きさの振動荷重を加えると、脆いも



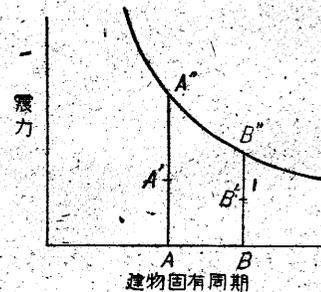
第 5 圖

のでは部材に起る最大應力がAに達し、粘いものではそれよりも低いB點で降伏するが、それ以後靜的荷重におけるように變形がどこまでも伸びるということなく、最大變形 B' 以内という限界がある。従つて粘いものは脆いものよりも破壊強度(あるいは降伏強度)それ自體は低くとも、ある大きさの塑性變形が許されるならば、地震に對する耐力としては同一であり得る。または逆にいつてわれわれの強度計算は地震も靜的荷重として計算してしまうから、粘いものと脆いものとは殊さら區別できないが、實際には前者の方がずっと大きな安全率がかかっているのだといえる。第6圖は衝撃的な振動の場合この塑性變形量によつて取り得る安全率の増大割合の最大限界を示したものである。



第 6 圖

さてこの項のしめくりとして耐震壁の量によつて建物にどの位の安全率の割増が與えられるか述べて見よう。これはちよつと難かしい問題だがその見當のつけ方の一つを以下に記す。前にいつたように建物の受ける震力は通常の遠地性の場合一度に大きな力に加わるのではなく時間と共に増大して行くのであるから、まず耐震壁に龜裂が入り耐力に達する。するとそれからは周期が延び、今度は前項の式によつてこの周期に應じた地震力を受けるようになる。これを感



第 7 圖

應曲線で示すと(第7圖)、最初Aに相當した所で地震力を受け、ちよつと壁の分擔剪断力の A' の所で龜裂が入り、周期が延びて B' に移行する。この際 BB' は AA' の時間の経過に相當し、あとはラーメンだけで B'B' に

耐える。これは當初の設計のラーメン分擔力 $A'A''$ よりも小で、その差だけ安全率の割増があることになる。これを式で書くと、 T_1 = 當初の固有周期、 T_2 = 壁の龜裂後の固有周期、

$$\frac{1 - \lambda + \lambda \frac{T_1}{T_2}}{\frac{T_1}{T_2}} \quad (3)$$

で表わされる。ここに λ は壁が分擔する剪斷力の割合。この固有周期の變化を關東大震災の前後に測定された結果をかりると、

名 稱	大 震 前	大 震 後
丸 の 内 ビ ル	0.71	1.18
郵 船 ビ ル	0.69	0.90
有 樂 館	0.61	0.90

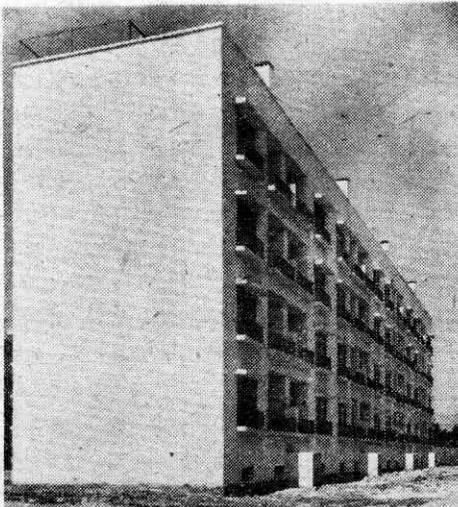
(震災前は 大森博士他、震災後は 堀越博士他による測定)

(振動中ではもつと同期が延びていたであらう)。

いずれも約 50% 増加している。これを (3) 式に入れ、例えば壁の地震力の分擔率を 4 割とすると、安全率は 1.3 倍に増加していることになる。もつともこの當時の建物の壁には前に述べた耐震壁の概念をそのまま用いることはできないが、壁がこわれて生ずる固有周期の變化はこの程度といわれている。従つて逆にこれらの建物位の壁があれば設計震度を基準震度の約 0.8 倍には減じてよからう。

壁 構 造

もう三年程違つてあろうか。未だ悲慘な生活にあえいでいたわれわれに一つの希望を抱かせたのは鉄筋コンクリートのアパートである(第 8 圖)。そしてその後遠原の火の如くゆき渡つてしまつた。



第 8 圖

一見してわかるようにこの建物にはいわゆる柱とか梁という區別できるものはなく、すべて薄い壁(15cm~22 cm)で圍まれており、この壁が柱とか梁の役をしている。このような構造を壁構造とよぶ。同種の構造は戦前から小さいものはあつたが、このように一つの流行までのし上つてきたのは戦後の現象に屬する。この流行はまたわが國の獨占ではない。歐州でも同じである。むしろ彼の地の方がさかんといえよう。

なぜこのような世界的流行を生んだかという、構造的に新しいものを、特に戦時中發達した航空機のよい技術を建築にも取り入れようとする氣運があり、構造的に特色をなした「應力外皮 (stressed skin)」と名付けるものに興味を抱いたためである。もちろん建築と航空機では根本的に大きな差異があり、壁構造を應力外皮というのは少ししいすぎの感があるが、この構造にはさらに時代の要求にマッチしたいくつもの大きな長所を持つていた。一つは戦時中、空襲にともなつて起つた火災のおそろしさが骨髓にしみこんでいたので、なによりもまず耐火的で、コンパクトなものという強い要求があつたこと。また資材特に鐵材の少い時であつたから、この制限を満足するものであること。さらにできるだけ量産方式をとり得るものであること。これ等の條件は實は壁構造にして始めてそなえられる條件ばかりである。また平面計畫上利する點として次のことが擧げられよう。

1. 柱・梁型が室内に突出さないので室が有効に利用できる。
2. 梁がないから階高を低くすることができる。
3. 柱斷面が通常の角柱または丸柱にくらべて構造的に効率のよい型にすることができ、鐵筋が少くてすむ。(普通ラーメン構造の半分位)

不利な點としては高層になると必要壁厚が大きくなり、柱斷面効率が低下する。また施工が難しくなる。等

いずれにしてもこれ等の點を考量すると、3~4 階位の低層建物には壁構造が有利な條件をそなえており、ますます發展する資格をもつた構造といえよう。このような觀點から、昨年、日本建築學會の耐震試験委員會で、これの 1/2 模型の壁式アパートについて耐力試験を行つた。供試建物は平面 3.3×6.4 m、高さ 4.5 m の 2 階建である。結果を簡単にいうと、横力の靜荷重試験では設計荷重の約 3.7 倍では重大な損傷が認められなかつた。振動試験では、建物の固有周期が 2 方向でそれぞれ 0.15 秒、0.125 秒であり、これが加速度 0.4 g 程の大振動になると 0.22 秒程度に延びる。また建物の振動の型については、建物の弾性變形が少く、ロッキングが極めて顯著であることが認められた。

この試験結果は壁構造の特徴を非常によく表わしている。というのは、壁で圍まれた構造であるからまず非常に剛い建物であることは容易に推測される。所でこの剛

いというのは、一體なにを尺度にして剛いというのであるか？ これには二つある。一つは地震の周期であり、他は地盤の剛さである。建物が剛いということは、その固有周期が短いということであるから、地震の項で述べたように、建物は剛である程地震力を大きく受けやすい傾向をもっている。従つてこの點のみ重視すると壁構造は普通の構造より不利となる。

しかしもう一つの尺度はこの様子をがらつと變えている。それは自然の妙味といえ、いえぬこともない。建物が剛ということは一面向いえば地盤が柔、または少くとも建物の變形と同じ位に地盤も變形するというを意味している。このことは地震力を受けた際、建物が地盤に對してスベリ、またロッキングを起す原因となる。ロッキングというのは角柱を横に揺すぶるとコトコト隔るように、建物の動揺につれて、基礎面の一方が浮き上り、他が沈むといった運動をこよんでいる。

このスベリとロッキングは同時に起る運動であるが、低い建物ではスベリの方が優勢であり、高い建物ではロッキングの方が優勢である。よく地震で家屋の土臺が基礎からはずれて破壊した例を見かけることがあるが、それと反對に基礎の幅を廣くしたために 30 cm 位ズレても助かつた例もある。これらは皆スベリのなすわざである。

しかしアパートのように鉄筋コンクリートの 3~4 階にもなるとなかなかスベリにくくなる代りに、ロッキングが顯著にあらわれてくる。ところでこのスベリとロッキングでは構造設計の上に與える影響は全く違う。スベリはただ建物に働く震力を減らすだけであるが、ロッキングは基礎面の不均一な沈下にもとづくから問題はさらに複雑になる。それは、われわれが構造計算する時地盤を剛と假定するのが通例で、すなわち柱に軸壓が働いても柱はいささかも沈下しない。これはなにも深い根拠があるわけではなく、地盤の變位まで計算にとり入れるととても面倒になるからである。しかし實際にロッキングが起るならば、それを考慮しなければならないのは當然のことで、これを計算にどう組み入れるかは、現在の一つの問題となる。例えば、ロッキングを起すと、ある個所では基礎が地盤から浮き上るから、そうならば今まで柱を通じて地盤に伝えられていた荷重(自重や積載荷重)は、梁を通じて隣りの浮き上らない基礎まで傳達されねばならず、これは梁の曲げで受けることになるから、梁は非常に大きなものになり、不經濟きわまりない。

上述でロッキングが起る原因として地盤が柔ということ強調しすぎた感があるが、ともかくも建物は地盤の上につけているに過ぎないのだから、高層になればかならずロッキングを起すものである。この限界の高さは均等なラーメン構造の時、ラーメンスペースの長さ/震度で表わされ例え、1 スパン=6m, 震度=0.2 のとき

ロッキングを起す高さは 30 m である。しかし地盤が柔くなり、壁が入りてくると、もつと低い建物でもロッキングを起す。そして壁構造のように上部構造の方がむしろ剛い場合は、試験結果にあるようにロッキング振動が極めて顯著となる。

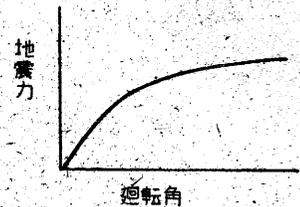
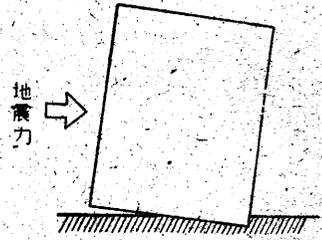
地盤の性質というのはよく知られているように、地盤をいつたんおして手を離すと、直ぐには彈性的に元にもどらないで、じわじわと、それもあとに残留變形をのこす。だから地震力を受けた時のように、基礎面の一方の側は押し、他方は離れるといった場合には、一寸した地震で直ぐに端部が浮き上り、ロッキングを起す。そこで

今この地震力とロッキングによる廻轉角の關係を調べて見ると、第 9 圖のように地震力が大きくなるにつれてますます廻轉角を増し、ある地震力以上はほとんど抵抗できないという限界を示す。この値は壁式アパートの奥行方向に對して 0.4g または 0.5g 位である。

この傾向はまた非常に重要な意味をもつてゐる。なぜならこういう傾向は振動に大きな減衰性を與えるものであるから。

前にも一寸觸れたように、鉄筋コンクリートの建物はそれ自體は減衰性の低いもので、どこか局部的にこわれそれによつて地震エネルギーが吸収されて始めて減衰するものである。その時壊れ場所が悪いと建物が瓦壞するということになる。ところでこの壁構造は非常に合理的に計算され、また鉄筋量も少ないので、どこが先に壊れてもよいという所はなく、従つてロッキングが壁構造で特に起りやすいということは、壁構造の耐震性に極めて効果的といえる。ここで注意したいことは、一般にロッキングを起すことは地震時建物に不同沈下を許すことになるから、もしその度合があまり大き過ぎると、たとえ受ける地震力は小さくなくても、かえつて不同沈下のために破壊することがある。この點についても、壁構造の剛という性質から、たとえ不同沈下が起きてても、建物全體が一體となつて働く傾向が強いので、このような心配はいらぬ。ピカの斜塔はその最もよい例である。

ともかく壁構造にあつては、周期が短いので感應曲線の方からは不利となるが、ロッキングすることによつてこの不利が傾消しされ、かえつて震力が減少する場合も



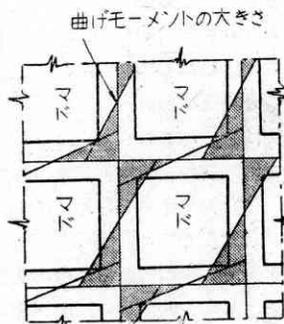
第 9 圖

ある。そしてこのためには第 4 圖のような関係においてできるだけ低い震度で塑性的な曲線が得られるようにする方がよい。しかしそうすると、また地耐力が無理が出てくるが、この構造では常時荷重にだけ必要な基礎面積を求めれば、地震時少々現行の地耐力を超えてもよいのではあるまいか。

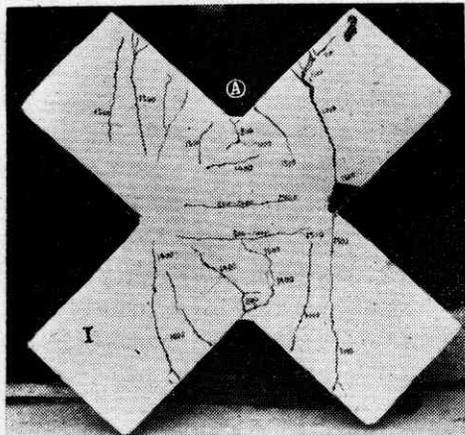
壁構造の設計細部

以上は壁構造を全體的に震度という点から考えてきたが、これからは少し細部の設計に入ろう。前記の 1/2 模型試験の時もそうであつたが、地震を受けた時真先に龜裂の入る所は窓の四隅である。普通のラーメン構造では窓の四隅に龜裂が入つても、この部分は単に窓を型づくるためにあるのだから、構造計算の對稱にはならず、一種の餘力をなし、そこの龜裂は構造主體である柱および梁にはなんらの影響もない。ところが壁構造ではさような區別がなく、この四隅の龜裂は直接柱と梁の接合部を痛めることになり、この龜裂の進展具合によつては、建物を破壊に導く最も有力な原因となりかねない。そこでこの點について特に調べて見たい。

第 10 圖のような構造の地震時の應力状態を概略あつて見ると柱または梁のちようど真中邊りは曲げモーメントが零となり、剪断力だけが存在している。そこでこの場所で柱・梁を切り取つて見ると、第 11 圖のような十字形が得られ、外力としては剪断力だけが働いていることになる。實際の龜裂もまたこのような外力によつて生ずるのである。第 11 圖はこの實驗によ



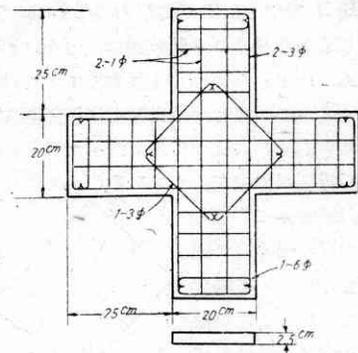
第 10 圖 柱および梁の曲げモーメントの大きさ



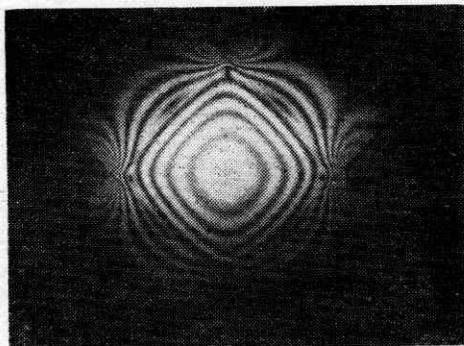
第 11 圖

る龜裂圖で、第 12 圖はこの場合の配筋圖第 13 圖は同じく光弾性實驗による等色曲線である。

この龜裂圖にはちよつと面白い現象が見られる。それは龜裂の入り方である。すなわち最初は當然豫想されるように(第 11 圖參照) A 點で引裂の龜裂が起るが、しかしそこに斜の鐵筋があるため大して發展せずして止まり、そのうちに前の約 1.3 倍の荷重で今度は板の真中に、それも A 龜裂と直角の龜裂が大きく入り、荷重の増



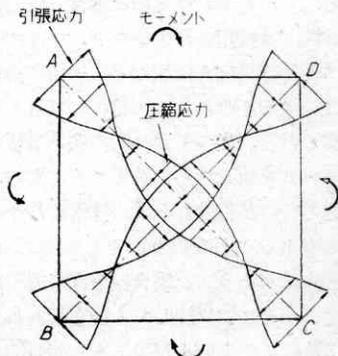
第 12 圖



第 13 圖

加と共にどんどん發展する。地震は繰返し荷重だから、次に逆の荷重をかければ、ここで柱が切斷されることになる。しかもこの龜裂の發生は柱、梁自體には未だなんらの損傷も生じていない時である。

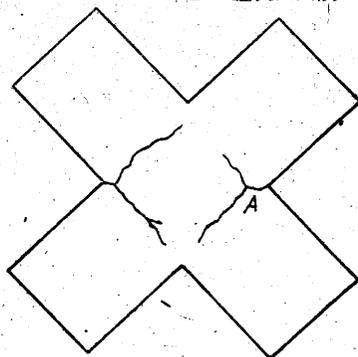
元來、柱・梁の接合部は地震時構造體の一番の弱點となるもので、壁構造といつてもこの弱點をおおいかくすことはできない。しかし上のような現象を伴つてここが破壊するという説明は今まであまり見られないので、特に念入りに解説しよう。そこで今、一番問題となつてゐる對角線 AC で切斷し、この断面に働く應力を調べて見ると、A, C 點附近は當然引張應力が働いているが中央に行くにつれてその値は減少し逆に壓縮應力に變る。この理由は



第 14 圖

B・D を中心に働く壓縮力のためであつて、第14圖に示してある通りこの壓縮應力の分布はかなり廣範圍におよぶ。以上とちょうど正反對のことが B・D 断面についていへ、この場合は中央附近は引張應力である。そしてこの應力分布によつて前に述べたように二つの異つた性質の龜裂が発生するのである。もちろん上の龜裂は四隅に引裂龜裂に對する

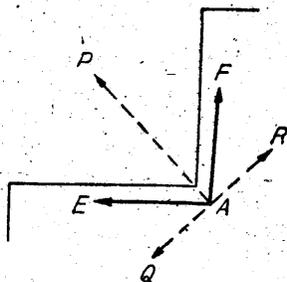
正規の補強筋が配置されている場合で、もしこれがなければ、最初に起る引裂龜裂は荷重の増加と共にますます成長し、夫夫邊 AB, BC, CD, DA を指向し、さらに低い荷重で破



第15圖

壊を起すことになるのはいうまでもない。(第15圖)

そこでこのような弱點をふせぐための補強筋の算定法を述べておこう。柱や梁の鐵筋の應力は曲げモーメントから計算できるから、例えばこれを \vec{AE} , \vec{AF} とすると、第16圖のようにまた \vec{AP} , \vec{AQ} , \vec{AR} に分解できる。この内 \vec{AQ} , \vec{AR} は隅の引裂力に對するものであり、 \vec{AP} は中央部の龜裂を起さすものである。従つてこれから補強筋を算定すればよい。中央部は縦横配筋で補強する方がよい。



第16圖

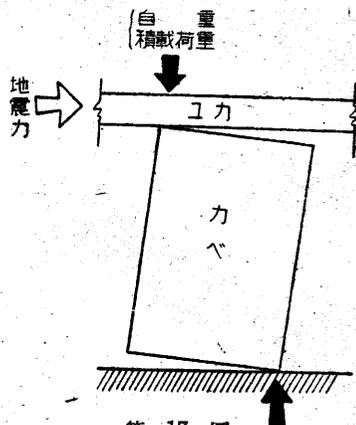
特別な壁構造

前項まではわれわれが普通に使用している壁を二つの面から見たのであるが、壁にはもう一つの使い方があつた。しかしそれは地震に對する抵抗力を心配して未だわが國では採用されていない。今まで述べてきたような壁は他の部材例えば床などと一體に構築されなければならないので、それらは一體にしてコンクリート打ちする必要がある。従つて壁はその狭い環板の間に上からコンクリートを流しこんで造ることになる。しかしこれは壁を造るだけが目的ならば、非常にむだな作り方で、當然平面上でこれを作り、そして立ちあげるのが常識である。だがそうした場合壁と床の充分な結合は一寸望み得ない。そこで無理しても現在行われているようなむだな工法によつていられるので、もし固い結合がなくとも充分に耐震的にすることができれば、これははなはだ都合よい

わけである。近年歐洲で壁構造の最もすぐれた型式として、平面計画上必要とする間仕切り壁を、柱として合理的な型 [T, L 等に變形し、その上に床をのせるといつた構造法が紹介されている。今までのべてきた構造法は壁構造とはいへ、規則正しい架構列という本来の精神はそのまま踏襲されているが、こゝではもはや基本架構というものが存在しなくてもよい。平面計画上従つて随時柱を設けている。それは基本架構の設定によつて始めて計算でき、また施工し得るというわれわれの現在の概念を根本的に變えるものである。

ところでこのような場合、耐震性は一體なんによつて得られるであろうか？ 壁と床との完全なる結合は期待できないのである。

こゝで次のようなことを想起する必要があるように思う。わが國古來の社寺建築、あの頭の重い建築は現在の耐震構造の概念からいうと危険極まりないものであるが、それにしては案外地震に壊れた例は少い。この



第17圖

謎を解く鍵の一つは非常に柱が太いことだといわれている。柱を太くすると、単にその上に重い荷重がのつてに過ぎなくても、第17圖のような機構で相當の復原力を與えるものである。今の場合もちやうど同じことがいえ、しかも壁はさらに幅が廣いので復原力に關しては一層有利であろう。たゞズレを止める工夫さえすれば充分耐震的といひ得るものを作ることができる。

あとがき

耐震構造というものは不思議な構造である。それはあるいは起るかも知れないという得體のわからぬものを對象にしている。起ればすぎましい力をもつが、起らなければ無用の長物である。だからできるだけ經濟的な建築を造るには壁のような一見簡易で強力な耐震力のあるものでカバーするのは人情である。しかし考えて見ると數々の問題をふくんでいる。本文はこのいくつかの働きについて取り上げて見た。だが、あえて構造屋が要求する壁の設計法については具體的ににも觸れなかつた。私は壁につき當つて、あと戻りし、または困惑する前にこの壁の働きそのものを述べたいと思つたからである。

* 坪井善勝、宮崎俊二：ラーメン部材および節點部力の光澤性學的研究、昭26、6月 建築學會大會發表。