

(10) プレストレスト コンクリート 構造 の一耐震法

(Prestressed earthquake resistant Structure)

京都大学助教授	小堀鐸二
京都大学助手	○金多深
京都大学大学院学生	六車照

一般に高層建築の実現を意図する際、我々構造学者に二の足を踏ましめるものはこの国が地震国であると言うこと、それに関連して高層建築を要求する都市の地盤が概して劣悪であるという二点に要約する事が出来るであらう。従つて斯かる不利を克服する為には、建物自体の耐震性を高めることと、過大な重量を地盤に伝へない事が必要である。建物自体の耐震性を高めることは、一般的に考へればその剛性を高めることであり、従来の方法に従へば、特に強力な材料が期待出来ない限り、建物自体の耐力を高める為に部材断面を大きくし、且つ耐震壁を増さねばならなかつた。故に斯かる見地から建物が高層化されれば建物自体の重量を著るしく増加せしめる。為に下層に於ける剛性は更に増加を余儀なくされるであらう。そして又、自重の過大は劣悪地盤の為に基礎の設計を著るしく困難とならしむるであらう。斯く考へて来れば従来の方法を以つてしては建物の高層化は絶望的なものと思はねばならなくなる。これは従来の方法が飽く迄も建物を剛に剛に設計すると云う方向を採る為の自然に陥る欠陥であると言はねばならない。

然らば建物の自重を過大にせずして而も耐震力を増加せしむるには何うしたら良いであらうか。この間に答へる前に我々は耐震性とは剛性を高めることのみであると一途に思ひ込んで良いか否かを先ず検討して見る必要があるであらう。

建物の耐震性はその剛性を大きくする事に依つて高められるとする議論は、地震動を水平力に置換して静力学的に考察するならば、その限りに於て正しいという答を我々は得る。併し地震は静的な水平力でない事は云う迄もない。一步進めてこれを従来の振動論的考察に於て取扱はれて来た様に、簡単な振動組織として考へた場合にも、即ち建物と建物に加はる地震時の外力を

$$\ddot{x} + \alpha \dot{x} + \beta x = A e^{i(\omega t - p)}$$

なる方程式に依つて記述されると見做す場合にも、上式より共振現象の存在が第一に指摘される。而も地震動は複雑であり或る周期を持つた波が来ても次の波は振巾や周期、位相が前の波とは相異なるのが常であつて、到底 $A e^{i(\omega t - p)}$ を強制力と見做す様な定常振動の考察では現象を十分に把握したとは云ひ切れるものではない。著者は近時、地震に依つて構造物が破壊されるのは地震波の中の如何なる要素に依るものかといった問題について考察し、構造物に対して最も不利な作用をなす地震波は架構の固有周期に同調する周期を持つものである事を指摘した。1) 地震波の周期は0.1秒以下のものから1~2秒のものと種々雑多に混合して居るが、その中で大きな加速度を持つ波は0.3秒前後のものが多いので、これに同調しない為には架構の周期がこれよりずっと短い或ひは長いかであれば良いという議論が一応成立する。前記の論文の結果から従来の震度は

架構固有周期 $\ll$ 地震波周期

の範囲では成立するであらう。従つて従来の震度を用ひて周期の短い建物を出来るだけ剛にせんとする設計方針は誤りではない。だが冒頭に掲げた様に、高層建築 (Skyscraper) の実現

を意図するならば、高層建築を地震の周期よりもずっと短い周期を持つ様に剛に設計する事は出来ない。我々は建物を地震に対して安全に設計しなければならないのは勿論であるが、それと同時に大切な事は出来る限り合理的な経済的な設計がなされなければならないと云う事である。故に我々の設計しようとする建物は最早地震動の周期より著るしく外れたものを対象とする事は出来ない。地震波の周期が0.1~1秒位であり我々の設計する架構も丁度その範囲の周期を持つであらう。即ち我々の設計しようとする建物は最悪の場合として架構の周期に同調する地震波が繰返し数回作用するという事を予想してかゝらねばならないと云う事である。

上の考察から我々の意図を実現する為にP・Sコンクリート構法に着目する。在来の鉄筋コンクリート構造がその強度、耐力の割合に重量が過大であるという欠点をP・Sコンクリート構造は或る程度除去し、しかもPrefabrication（工場生産可能）といった特長を備へて居る強味がある。この構法は在来のものより部材断面が著るしく小さくなるため、これを多スパン高層ラーメンに用ひると部材及び節点の剛性が在来のものより小となる為ラーメン全体としての水平力に耐へる力が小となるがこれは我々が以下述べる方法で補へばよく、その方法も簡単に施工出来るものと考へられるのである。

こゝに提案せんとする新しい耐震方法を要約すれば、

柱及び梁は略々鉛直荷重に耐え得るものであればよいこと。地震力は筋違に依つて受持たせる。（筋違は壁でも良いが飽く迄も軽量化を狙ふ意味から筋違を採用する。）そして筋違は剛性分布の必要に応じて色々の強度を持つたものを配置する。その際地震力に抵抗する構面は建物自体に振りが生ぜぬ様になるべく剛性を平面的に均等分布させることが是非必要である。

即ちこれは烈震に依つて架構に部分的な破壊を考へて、部分的破壊による架構周期の伸長を予想して共鳴から逃れんとするものである。（緩和機構の存在を企図する。緩和機構としては

例へば第1図の如き力学的模型で表現される如の摩擦的筋違乃至は壁が考へられ、後に述べるTwisted wire等は多分に斯かる性質を有するものと思はれる。）柱及び梁はP・Sコンクリートで設計する。その際、柱梁節点の剛性を大きくして地震時に働く柱、梁の逆モーメントを大きく想定して設計する事はP・Sコンクリート構造としては不利である事は免れない。従つて、柱と梁の節点の剛性を期

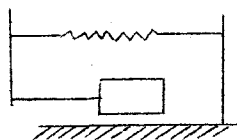


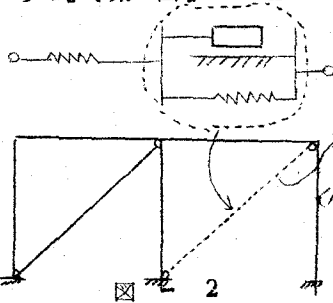
図 - 1

待せず鉸節に近くして、柱、梁には余り大きな逆モーメントに対する抵抗力を期待しない代りに筋違に地震力の大部分を負担させようとする狙ひである。

建物は架構の一部に破壊が生ずると、建物全体としての剛性が減少しその為周期が長くなる。それ故に予想される地震動の周期より最初の建物の持つ固有周期が短い剛構造に於ては、破壊に依つて固有周期が延び次に予期される地震動の周期に近くなるので益々破壊が進行する怖れがある。これと逆に予期される地震動周期より建物の固有周期が長い場合、即ち柔構造の場合には破壊が生じても地震の周期より離れて行く一方であるから破壊は或る処で止るであらうと考へられるのである。そして地震力に依つて発生する建物の部分的破壊を柱や梁の様な主要部分避けて、何段階迄にも施工された筋違の部分に集中する様設計する事が可能であるとも考へられるのである。これが第2の狙ひである。

そして、第3に、架構の水平剛性は最初はPretension Diagonal wireに効かせる。この場合、引張力をかけない（従つて架構が変形しない中は効かない）Twisted wireの筋違を併置

する。(第2図) Pretension の筋違は架構の水平剛性を可成り大きくする様に与へておく。



従つて最初の架構は相当剛でありその固有周期は短い。地震動がこの T_p と共鳴して架構が或る振巾の増大を来すとこの Pretension は降伏し更に切断される。而る時は initial Tension が零としておいた Twisted wire が効いてこの wire の与へる剛性が架構を支へることになる。この剛性に依る固有周期 p_t は T_p と異なるので T_p と同調する波から逃れて架構の振巾の増大を防ぐ。

而して Twisted wire はその応力-歪曲線の Nonlinear 特性に依り常に地震波よりの共鳴から逃れ得る。しかもその剛性は変形と共に増大する Hard Spring (第3図) の役割を持つので²⁾

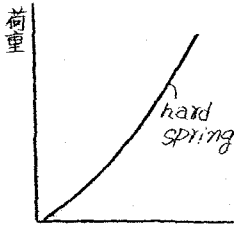
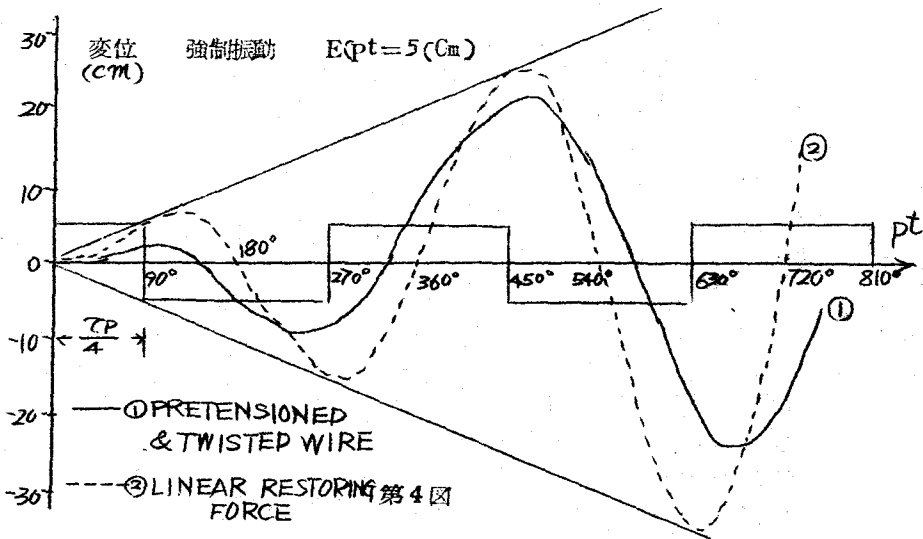


図 - 3

柔構造の持つ共鳴せざる小さな力に依る大変形(大振巾)状態も防止出来ると考へられる。そして又 Twisted wire は或る程度の摩擦減衰力も期待出来る。Pretension wire の破壊個所を地震の後に復旧修理し、失はれた筋違の元応力を再び加へる事が、P.S. コンクリート構法こそ容易に出来るものであると考へられる。従つて高層建築を設計する際の構造法として P.S. コンクリート構法が適して居ること、及びこの構造法に対する一耐震法を著者が提案する所似もこゝにある。

上に述べた事柄を定性的に実証する為、今降伏荷重の30%の Pretension を与へた Wire と第3図に示す様な特性を持つ Twisted wire の共存する一 点系に最初の架構の固有周期 T_p に同調した地震波が繰返し作用する場合を E. Meissner の図解法⁴⁾を用いて解いた結果第4図を得た。同図は同じ外力のもとに線型特性を有する架構の共振変位曲線と比較したもので後者が時間と共に段々振巾が増大して行くのに比し前者では最初の Pretension wire の為に剛性が高められて振巾が小さく、Pretension wire が破壊しても固有周期が變つて架構の振巾は後者の割合程大きくならない事が認められ、この方法の効果が十分確認される。

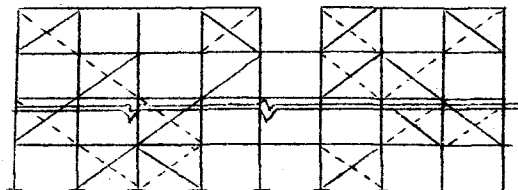
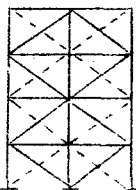


Pretension wireの強度は必ずしも各階同じ強度でなくとも良い。各階での相対振巾は異なるから同時にPretension wireを破壊せしめる様に設計するには寧ろ同一強度を持たせない方がよいと考へられる。又この二段構えのSystemを非線型特性の夫々相異つた三段又は四段構えにする事も有効であらう。二段或いは数段構えの変形を架構に予期せねばならない関係上架構の許容水平変位は或る程度大きく見積る必要がある。従つてこゝで必要なのは水平力の大きさではなくして、許し得る水平変位の大きさである。許し得る水平変位の大きさは結局Pretension wireの強度によつて定まりこの強度は建物の初期の水平剛性、即ち初期の固有周期を何の位の値に置かうかという事により決定される事である。

Pretension wireとSecondaryのTwisted wireとは必ずしも共存して入れる必要はないがwireの伸びが与へる鉛直方向成分の力は各層のものが累加されぬ様に成る可く相殺される様に入れる。

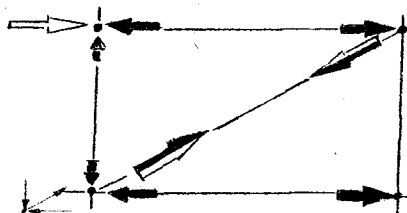
(第5図)

即ち筋違で以つて水平方向の変形に抵抗しようとするのであるから、各階の筋違を柱と梁の接点で緊結する際、筋違に働



く力の鉛直成分が柱に、又水平成分が梁に圧縮力として掛つて来るという事が考へられる。建築物の張間は通常階高に比して大きい為、柱にかかる圧縮力は梁にかかるものより小さい。

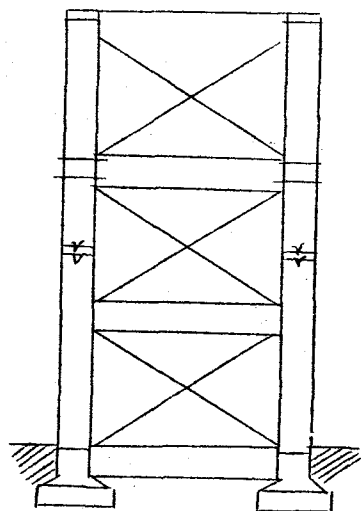
(第6図) 梁にかかる圧縮力は結果に於て地震時に梁のRestressを余分に導入した事になる



から常時は長期荷重に対して安全である様に少量導入しておけば良く、梁に対しては安全側である。柱に働く圧縮力は地震時に少し増加する事は覚悟せねばならない。(増加量は梁に比べて少い。)

次に柱と梁の節点に筋違を碇着する事が問題になるがその一解決法として次の様な配置が考へられる。第7

図の如く梁と柱の接点の側所にPretension & Twisted wireを通す孔を設けこの孔を通して1



本の長いwireを連続して施工し最上階の梁の下端に碇着せしめる。斯くすれば各固定点は地震時に柱に働く圧縮力と同じ引張りに耐へる固定度を有すれば良く数量も半減出来る。

この耐震法は高層建築を意匠及び機能の面から計画する際に若干の制約を与へるであらう事は論を俟たない。然しこの様な構造計画が可能な様にPlanningされればP.S.コンクリートを用ひて合理的な耐震構造物を実現し得るのではないだらうか。

以上は細部個々の実地的な設計施工法には触れずP.S.コンクリート構法の一耐震法の方針を大略述べたに止まつたが、地震法の性質各材料の塑性特性等が定量的に十分研究され尽したとは言へない今日、この方法を直ちに実施する事は困難であり、斯かる問題は今

後の研究に委ねられる。

終りに、本稿の御校閲を給はつた京大、坂、棚橋両教授に篤く謝意を表します。

以 上

註、

- 1) Ryo Tanabashi, Takuji Kobori, Kiyoshi Kaneta.

Vibration Problems of Skyscraper Destructive Elements of Seismic Waves for Structures"

Disaster Prevention Research

Institute. Bulletin No.7

march 1954.

- 2) 復元力が非線型特性を示す場合に伴つて起る疑念の一つに振動の安定、不安定の問題がある。3) 即ち非線型定常振動で $q \cos \omega t$ なる形で表はされる外力の或る振動数に対して対応する振巾が二つ乃至三つ考へられ不安定な振動原が存在する事が指摘されている。然しそれは定常振動に於ける現象であつて最初に述べた如く、地震波に依る構造物の振動はかゝる定常振動に帰着せられない問題であり上記の q 及び ω が次々と変化するから安定、不安定の問題は考へられない。

- 3) S. Timoshenko 「工業振動学」

谷下市松 訳

p 115

- 4) E. Meissner : " Graphische Analysis vermittelst des Linienbild einer Funktion". Schweizerische Bauzeitung 1931-1932 Zürich