

高層建築の地震によるせん断力 (続)

梅 村 魁*
柴 田 明 徳**
岡 秀 隆***

1. 序

高層建築の地震によるせん断力については昭和38年度の橋梁・構造工学研究発表会において昨年度における資料を示し、建物の高さにそつた剛性分布とせん断力分布との関係について述べたが、今回はさらにその後の資料を加え、この問題について論じてみたい。

最近超高層建物の設計において、設計震度のかわりに設計用せん断力係数を用いる場合が多いが、その決定に当っては、建物の地震による振動の特性に基いた動的な配慮が必要である。そこで、前報告に引続き実際の建物が地震をうけたときのせん断力係数の値およびその高さにそつた分布に関する資料を追加し、あわせて、動的な立場から考えた骨組構造計画のための設計用せん断力の決定法について述べることにする。

2. 各種地震に対する1質点系のせん断力スペクトル

建物に働らくせん断力は地震によつて様子がかなり違るので、建物の設計に当つてどのような大きさおよび性質の地震を予想したらよいかが大きな問題となる。この問題は、その地域における地震の頻度地震の特性、地盤の状態 また建物の重要度など種々の要素が関係してきて現状ではまだ未解決の点が多い。このうち地震の特性については、最近わが国においても強震観測網が整備され、強震計SMACによる建物および基礎の加速度記録が収集されつつあるので、これらを地盤資料などとあわせて解析して行くことにより、しだいに解的されよう。ここではSMACにより東京、大阪および名古屋で記録されたいくつかの中震記録の解析結果を1質点系のせん断力係数のスペクトルの形で示した(図-1)。图中たとえばTokyo 101(NS)1956 II 14 とあるのは武藤博士の提唱によるSMAC記録の表示法で、東京のNo.101建物(SMACの設置されている建物の記号、101は東大地震研旧館)で1956年2月14日にとれたSMAC記録のNS成分の意味であり、他もこれに準ずる。なお図-1のせん断力係数スペクトルは、各周期に対するせん断力係数 q (最大せん断力/重量)を地動震度 k_0 (最大地動加速度/重力加速度)で基準化したせん断力比 $\alpha(q/k_0)$ の形式で示してある。即ち地震の大きさに関する議論は一たんさしおいて、まず地震の性質について検討しておき、あとで地動震度 k_0 を与えてやればせん断力係数 q の絶対値が得られるよつてである。

* 東京大学工学部

** 同上

*** 同上

なお図-1-1と図-1-2は同一場所で異った地震に対して得られたNSおよびEW成分の記録のスペクトルを比較したものであるが、スペクトルのピークの位置、全体の傾向などは同じ場所ではよく似ているようである。スペクトルと地盤性状、建物の影響、強震と中震との性質のちがいなどについては、さらに今後の検討が必要であろう。

3. 建物の地震によるせん断力の性質

前論文においては、せん断力係数の意味および各種の建物設計例についてこれを5質点系に置換した場合のせん断力係数の性質について述べたが、今回はそのうちのいくつかの例について、新たに日本の地震を含めた各種の異なった地震に対するせん断力係数を求め、その高さにそった分布やせん断力スペクトルとの関係などについて考察すると共に、比較のため質量、剛性が均等な5質点系についても同様の検討を行う。

i) ベースシアア係数と1質点系せん断力スペクトルとの比較

多質点系のせん断力係数 q_i は、地震による各層最大せん断力を Q_{imax} 、各階重量を w_i として

$$q_i = Q_{imax} / \sum_{k=2}^N w_k \quad (1)$$

で与えられるが、特に最下層のせん断力係数、即ち最下層の最大せん断力を全重量で割った値は、ベースシアア係数とよばれ、1質点のせん断力係数スペクトルに対応する値である。図-1の中には、5質点系の応答結果から得られたベースシアア係数を地動震度 k_0 で規準化した値—ベースシアア係数比 α_1 を1次周期に対応して記入してある。(●印は均等系、○印は建物置換系)。前論文で述べたように、 α_1 は1質点の α に比べてやや小さいか(特に短周期で)、もしくはほぼ等しい値を示している。即ち高層建物のベースシアア係数を考える場合、構造物の1次周期および1質点のせん断力スペクトルを用いて大きな誤りはないようである。

ii) せん断力係数の分布

図-2には各種の地震に対する5質点系のせん断力係数の高さに沿った分布 \bar{q}_i (q_i/q_1) を示した。減衰帯的はいずれも一次に対し $1h=0.05$ で内部減衰部である。図中たとえば15S(100%)とあるのは15階の鉄骨造建物で設計震度が日本規準の100%であることを表し、30S(400%SEAOC)とあるのは30階の鉄骨造、設計震度がSEAOC規定の4倍であることを表す。

なお、図中鎖線は剛性分布 \bar{k}_i (k_i/k_1)、点線は一次モードに対するせん断力係数分布である。

さて \bar{q} のかたちは、建物の周期、地震の性質、その他の要素によってまちまちであるが、概して1次周期がスペクトル最大ピーク付近の短周期にあると、 \bar{q} は一次モードに対応するせん断力係数分布に近いが、スペクトルが急激にさがった谷に当る範囲(地震によってちがいが1.5~2.0秒付近のことが多い)に1次周期が入ると、2次振動の影響が増大して上層のせん断力係数が下層に比して著しく増した形になる。剛性分布については、上層の \bar{k} が小さいと \bar{q} も上層で増加する傾向はあるが、 \bar{k} が一定の均等系でも1次周期がスペクトルの谷にあたる範囲にあると、かなり上層で \bar{q} が増大する。このようにせ

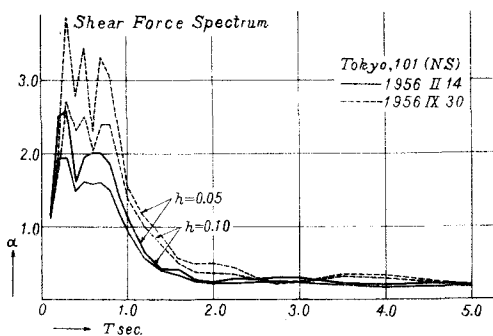


图 - 1 - 1

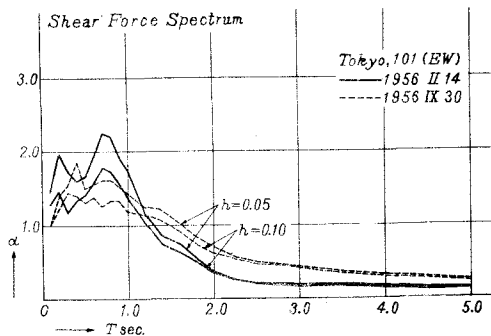


图 - 1 - 2

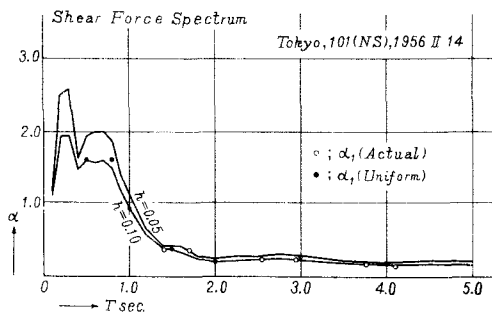


图 - 1 - 3

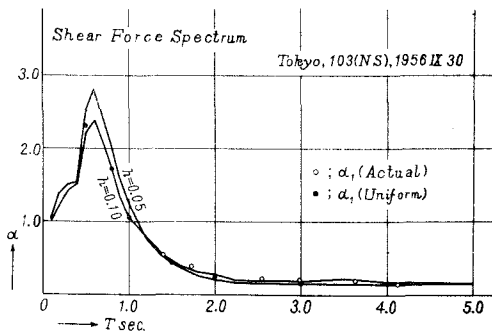


图 - 1 - 4

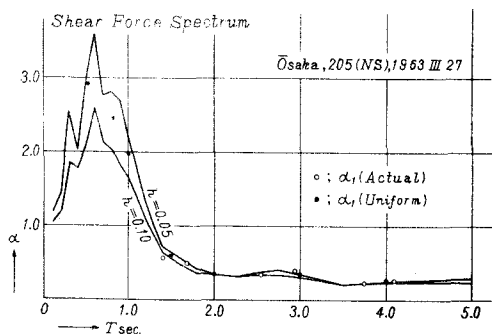


图 - 1 - 5

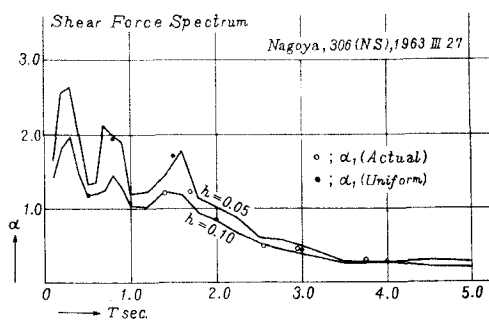


图 - 1 - 6

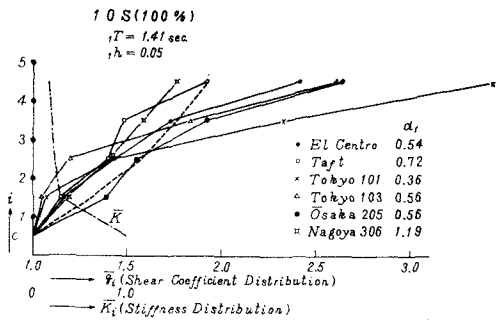


图 - 2 - 1

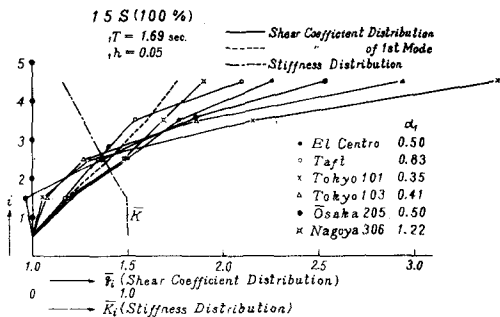


图 - 2 - 2

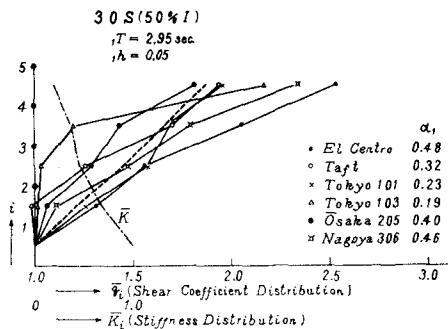


图 - 2 - 3

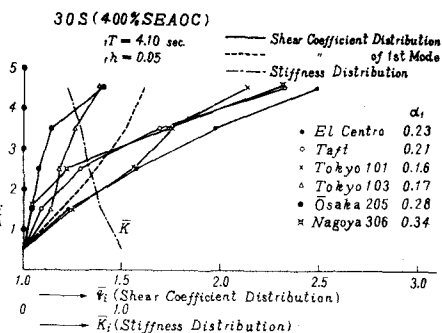


图 - 2 - 4

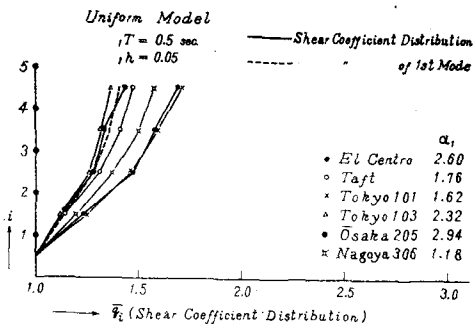


图 - 2 - 5

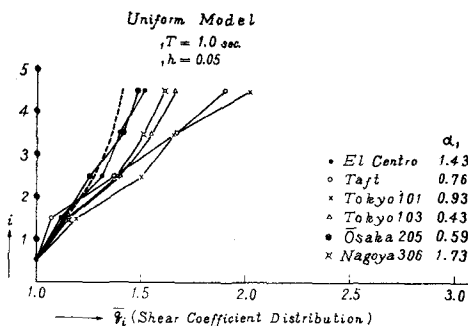


图 - 2 - 6

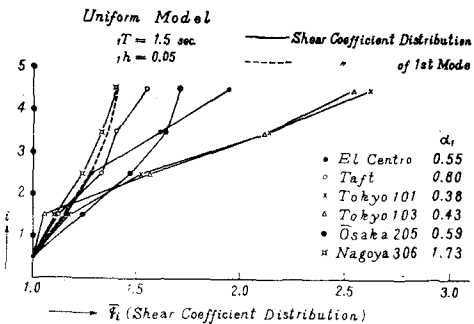


图 - 2 - 7

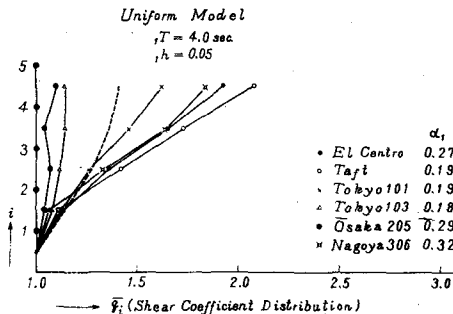


图 - 2 - 8

せん断力係数の分布には、一次振動と二次振動の比率が大きな影響がある。即ちスペクトル形と建物周期に関係があると考えられるので、次にいくつかの仮定を設けて、1質点せん断力スペクトルからこの性質に説明をつけてみよう。

まず1次モードと2次モードに対応する外力形を、図-3のように逆三角形及び頂部集中形におきかて考え、全体のせん断力係数分布はこの2種の外力分布のある比率での組合わせて求められるとしよう。即ち全体のベースシア-係数を C_B 、逆三角形に対応するベースシア-係数を C_{BT} 、頂部集中形に対応するその C_{BT}/C_{BP} を次の様に表わして見る。

$$C_{BT}/C_{BP} = 1q_1 A / 2q_2 A \quad (2)$$

ここに $1q_1$ 、 $2q_2$ は1次および2次周期に対するせん断力係数スペクトルの値、 $1A$ 、 $2A$ はそれぞれ1次および2次に対する横力分布形の図-3に示すような面積であり、 $1q_1 A$ 及び2次の応答における中間節点での最大せん断力に相当する量である。この C_{BT}/C_{BP} の割合で逆三角形および頂部集中形に相当するせん断力係数分布(図-4、最下層のせん断力係数を単位とし、質点分布は近似的に一定と考えてある。)を加え合せれば、前記の仮定に基いた一つのせん断力係数分布が定まる。

そこでこれらの仮定が実状とどの程度合うかをたしかめるため、 $1q_1$ 、 $2q_2$ および $1A$ 、 $2A$ の値を図-2で扱った5質点モデルの場合に対応させて定め、近似的なせん断力係数分布を計算して、実際の応答計算から得られたせん断力係数分布と比較したのが図-7である(実線は応答値、点線は計算値)。ここに $1q_1$ 、 $2q_2$ は $h=0.05$ のスペクトルより1次、2次周期に応じてよみとり、更に $2q_2$ は減衰の増加を考慮して $1+10_1 h / 1+10_2 h$ (ただし $2h / 1h = 1T / 2T$)なる割合で低減させた。この関係はスペクトル値と減衰常数との関係をEe C entro (1940, NS)地震について調べた図-6から近似的に推定したものである。また $1A$ は $\sum_{i=1}^5 m_i 1\beta \cdot 1u_i$ の値を、 $2A$ は $2\beta \cdot 2u_i$ が負の範囲の $\sum_{i=1}^5 m_i 2\beta \cdot 2u_i$ の値をとつた。図-7をみると、応答によるせん断力分布と、仮定に基いて計算された近似的分布とは、傾向としてはかなり一致しているとみてよい。建物置換系と均等系の場合を比べると建物置換系の方がよく一致しているが、これは均等系にくらべて一次モードが仮定した逆三角形に近いためであろう。

4. 設計用せん断力係数決定の方法

簡単な仮定によって建物のせん断力係数分布の性質をかなりよく表わし得ることが示されたので、この方法を建物の一次設計用のせん断力係数分布の決定に用いることができよう。また設計用ベースシア-係数 C_B としては適当地震のせん断力スペクトル、または標準スペクトルの値が用いられよう。

ただしこの方法をういて一次設計の段階で C_B および C_{BT}/C_{BP} を定めるには、せん断力スペクトルの他に、建物の1次周期 $1T$ 、1次と2次の周期比 $2T/1T$ 、及び $1A/2A$ の値をあらかじめ仮定してやらなければならないが、 $1T$ は建物階数、構造などから適切に仮定できるし、 $2T/1T$ 及び $1A/2A$ についても建物の種類、構造などを考慮して妥当な値を仮定できる。

図-5には参考のため、剛性分布の異なる5質点系の $2T/1T$ 、 $1A/2A$ の値をモードの形と共に示

Lateral Force Diagram

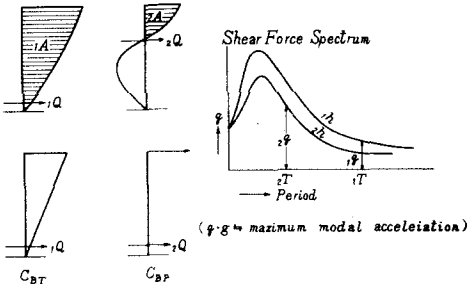


图 - 3

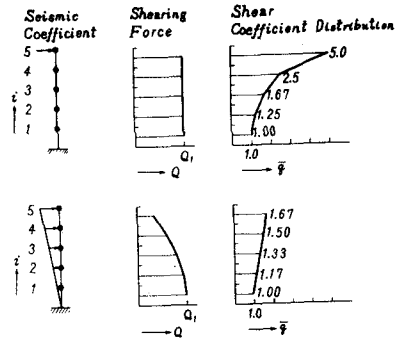


图 - 4

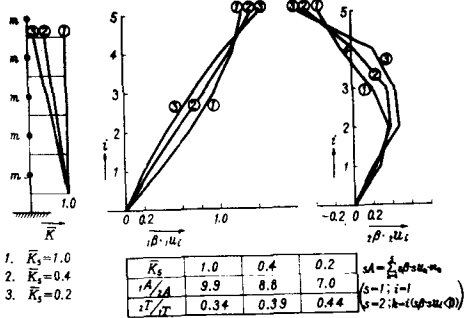


图 - 5

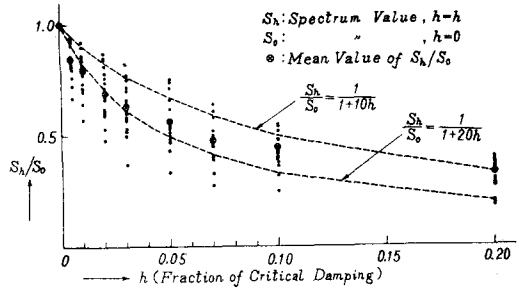


图 - 6

Тоkyo 101 E_g

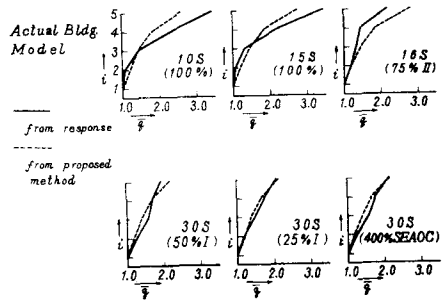


图 - 7 - 1

Osaka 205 E_g

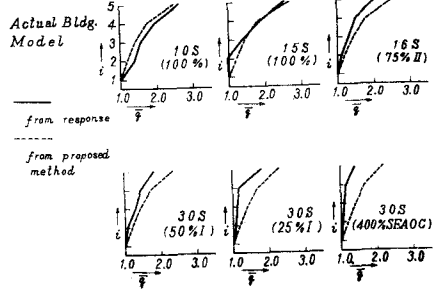


图 - 7 - 2

Тоkyo 101 E_g

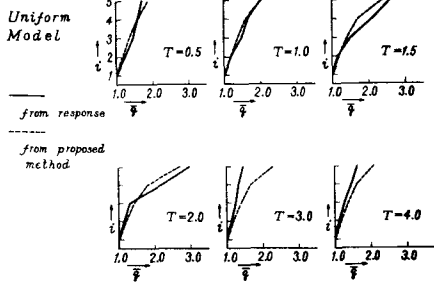


图 - 7 - 3

Osaka 205 E_g

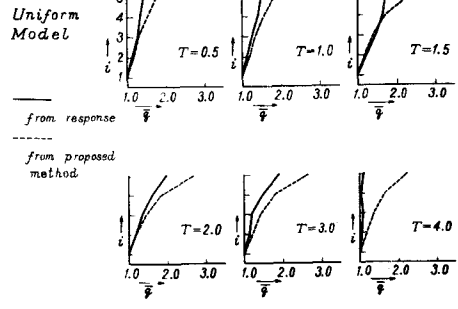


图 - 7 - 4

した。なお2次の減衰は内部減衰形が適当とはかぎらず即した判断が要求される。

かくして、骨組の耐震構造計画に用いる設計せん断力を決定するための、次のような方法が提案される。

- a. まず、建物基礎の設計用最大加速度、および設計用せん断力スペクトル、から建物の1次周期に応じて設計用ベースシア係数 CB を定める。
- b. 次に、(2)式に示される比率 CBT/CBP に応じてベースシアを分ける。
- c. 逆三角形外力と頂部集中形外力に対応した層せん断力をそれぞれ CBT 及び CBP の割合で組合わせて、設計用層せん断力を定める。

ここにa項で建物基礎の加速度という表現を用いたのは、地盤そのものの加速度と建物の基礎版の加速度とは違うことが予想されるからである。即ち、地盤の加速度は地業の種類によって、また上部構造によって影響をうけて建物に加わる。更に大地震の際には基礎と地盤のずれなどが考えられ、下部構造部分の境界効果が大きな問題になる。現在得られているSMAC記録などの強地震記録は、これらの影響を含めたものであるが、将来においてそれぞれの要素を分離して取扱うことができれば、より合理的な設計用地震動の選定が可能になるのであろう。

なお以上解析はすべて東京大学に設値されたアナログコンピューターSERACによるものである。