

不同沈下による建築物の障害について

建設省建築研究所研究員 大崎順彦

§1 不同沈下の原因と実態

建築物が地盤の上に建てられるものである以上、建物の重量のため地盤には多かれ少なかれ変形すなわち沈下が起こり、これがまた建物の上部構造の応力に影響を与えることは避け難いことである。ところでわが国において比較的大きい建築物が集中して建てられる大都市ないし大都市は、ほとんどその大部分が不幸にして大河の河口に近い沖積平野上に発達したものであるという宿命があり、従って地盤が非常に軟弱であって建築物と沈下の問題は常に設計上の重要なポイントとなっている。また同時に、地盤の条件が不良でありこれに対して適切な考慮と対策を欠いている場合は、著しい不同沈下を生じて建物が傾きあるいは亀裂を発生する等の障害を生じている例を見聞する機会が甚だ多い。

建築物の不同沈下の原因は、一言にしていえばすべて地盤の条件が不良であるということに帰するが、実際には不良という意味が甚だ複雑であり、これに従って生ずる不同沈下の実態もまたきわめて多種多様にわたる。以下にまづ通常しばしば遭遇する不同沈下の原因と、それぞれの原因によって生じた障害の典型的な例を列挙してみよう。(1図参照)

- (1) 建築地盤の1部が軟弱な場合：それに気付かないで他の良質な部分と同じ許容地耐力をとって基礎を設計すると、当然この部分が余計に変形して不同沈下を生ずる。図に示した例は地山(関東ローム)の1部を切りとって凹地に埋め、表面をならした敷地に不注意に建てられたためひどい不同沈下を起した某鉄筋コンクリート造建物の1例である。
- (2) 地盤が総体に軟弱な場合：このような場合は一応小さい許容地耐力の値をとって基礎を設計するが、建物の全長にわたって同一の値をとると建物の各部から来る地中の応力が中央附近で重なり合い、その結果地中応力の分布は図のような形となって必ず建物の中央が大きく沈下するという傾向を示す。このような現象は独立基礎、布基礎、ベタ基礎、抗基礎等、基礎構造形式のいかんにかかわらない。但し建物の長さに対して高さが

高い場合は、その剛性が高いために建物自身が変形に抵抗し、このような不同沈下の傾向が目立たなくなる。

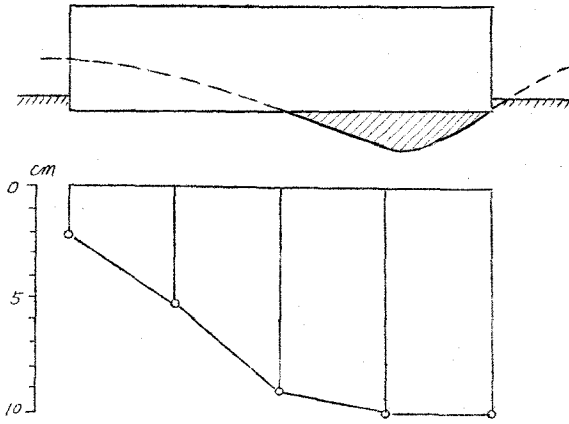
このような地中応力の重なりは、建物が近接して建てられている場合にも両建物の間で起り、そのため両者が互に向い合って傾くような形の不同沈下を生ずる。図の(2)'に示したのはこのような原因によって不同沈下を起した建物群の実測例である。

- (3) 地盤の下部地層が軟弱な場合：地盤の表面附近にかなり耐力の高い層があって、その下部の地層が軟弱であるという場合は、最も設計の失敗をおかしやすい。通常地盤の耐力は45cm角程度の載盤を用いた載荷試験をおこなってきめるとというのが慣習になっているが、このような場合は小載荷盤による載荷試験結果がそのまま適用できないケースに当るからである。すなわち図の(3)に示したように、実際の建物では下部の軟弱層にまでかなりの応力が及んでこれが沈下の原因となるが、小載荷盤では応力の到達深度が浅くてこのような下部地層の影響を見込まない過大な許容耐力値を与えることとなる。

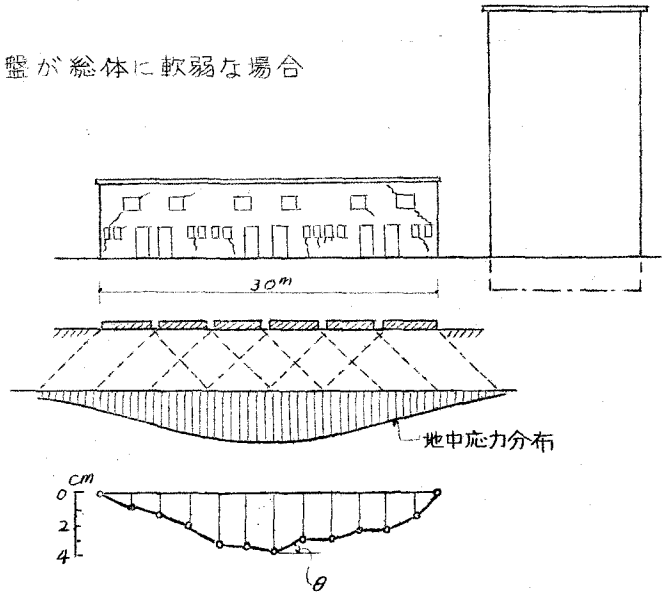
実際にもこのような地盤条件のところで建物のスケールと不同沈下障害の有無の関係を調べて行くと、建物が小さくて下部層まで応力が及ばないため沈下を生じていないものと、単位面積当りの建物重量はほぼ同一でもその大きさが大きいと下部層にまで応力が到達して不同沈下を生じ亀裂を発生しているものと、この両者の境界となる或る建物の大きさの限度を見出すことができる。

- (4) 下部地層が傾斜している場合：下部の基盤層が傾斜していてその上にある軟かい層の厚さが変化している場合は、大体同程度の建物荷重をうけても層厚の厚い部分はそれだけ圧縮量が大きいため、この部分で大きく沈下して建物は全体として傾きを生ずる。
- (5) 近接して根切りをした場合：既存の建物に隣接して根切りをおこなった場合、その影響で既存建物の1部が不同沈下亀裂を発生するという事故は、建物が密集している大都市の中心地域における工事現場では特に多い。この種の不同沈下は、根切りにより地下水が低下すること、土の1部が矢板の間から流出すること、矢板自身が変形して土の側方移動が起ることなどが主な原因であり、さらに山留工法に不備があるとこれに拍車をかけることになるが、大がいの場合既存建物の基礎構造が貧弱であることにも責任の一半があるようである。図の(5)はこのような根切りにより不同沈下を起し大亀裂を生じた建物の1例である。
- (6) 建物ががけ、傾斜地に近接して建てられた場合：建物ががけや傾斜地にあまり近接して建てられていると、がけ側の地盤がすべったり側方に移動したりして、この部分の地

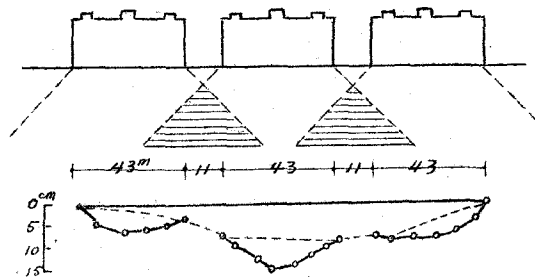
(1) 地盤が一部軟弱な場合



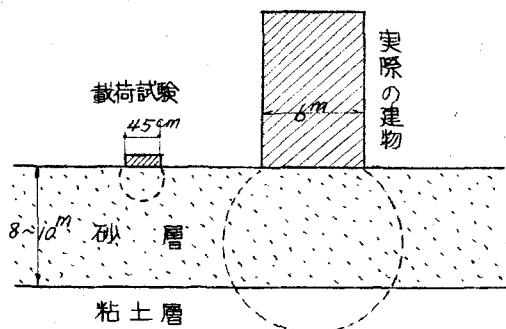
(2) 地盤が総体に軟弱な場合



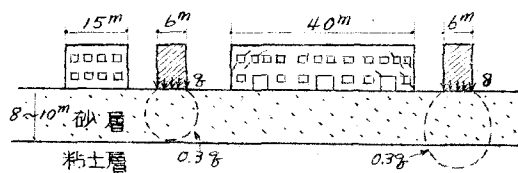
(2)'



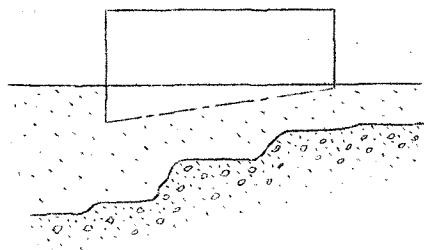
(3) 下部地層が軟弱な場合



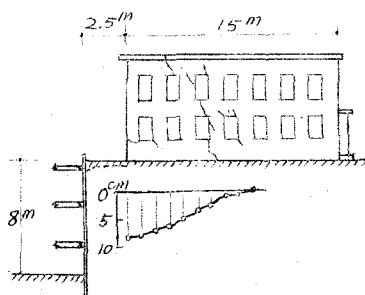
(3)'



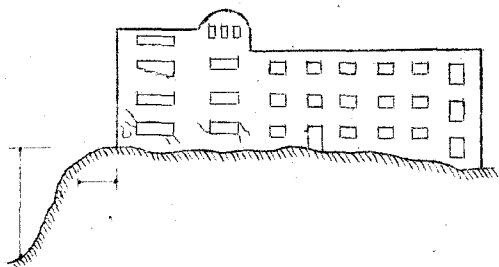
(4) 下部地層が傾斜している場合



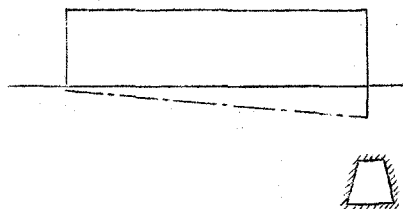
(5) 近接して根切りをした場合



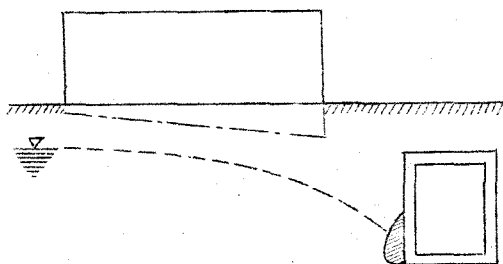
(6) がけ・傾斜地に近接して建てられた場合



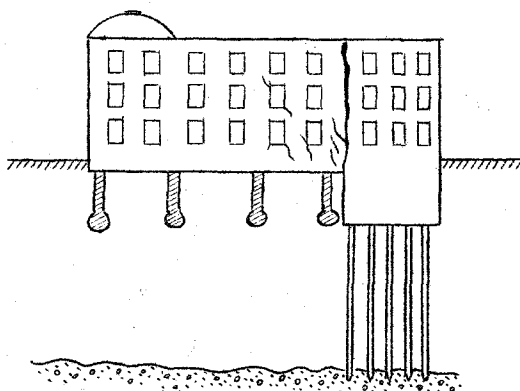
(7) 地下に埋設物・空洞等がある場合



(8) 地下水位が部分的に変化した場合



(9) 異種の基礎構造を採用した場合



第1図 不同沈下の原因と実態

表面が沈下し、建物の不同沈下が起って亀裂を生じている例をみることが多い。図の(6)はこのような障害を生じた某学校々舎の1例である。

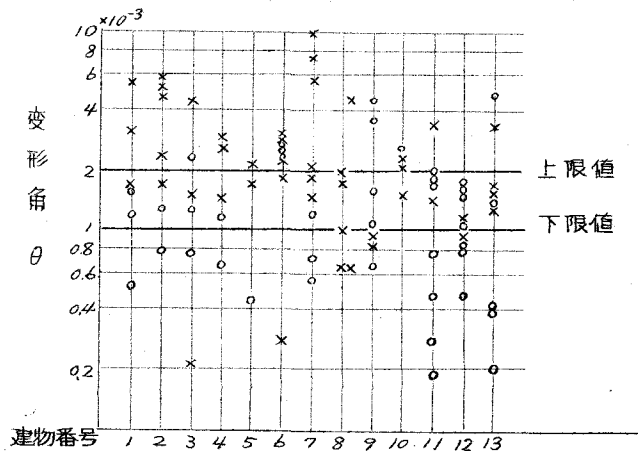
- (7) 地中に埋設物、空洞等がある場合：建物の下部に防空壕跡のある場合等にしばしば厄介な問題をひき起している。特に一旦崩れた防空壕等は、敷地内にあることがあらかじめ判明していても、正確にその位置を確認する適切な方向がいまのところ見当たらないということが、はなはだこれに対する対策を困難にしている。また地下に坑道のある場合も、そのための地下水位の低下や、また廢坑となった後の陥没のために建物を沈下させることがあり、西日本の炭坑地域ではこのような障害が少なくないといっている。
- (8) 地下水位が部分的に変化した場合：地下水位が低下するとその部分の土粒子が浮力を失い、実質上重量が新たに加わったことと等しくなつて沈下をひき起す。図の(8)に掲げたのは、地下道の側壁に沿って水みちができたためその附近の地下水を排水し、そのために不同沈下が起つたものと推定されたある建物の障害例である。
- (9) 異種の基礎構造を採用した場合：同一の建物で部分的に異つた種類の基礎構造形式を採用したものは必ず結果がよくない。図の(9)に示した建物は、旧館と称する1部は長さ約6mのペデスタルで支持されており、これに接続した新館部分は厚さ約30mの沖積層を貫いて下部の礫層に達する長い支持杭によって支持されている。両者の間には当然著しい不同沈下が起り、新旧両館を接続する部分の壁に大亀裂を発生した。但しこの建物の場合は新館を増築した時期には旧館部分の沈下はある程度おさまっていたので両部分間の不同沈下は比較的小さくてすんだわけであるが、同時に建設した建物の1部では支持杭を用い他の部分では異形の摩擦杭を採用した某建物は、建設中に崩壊するという事故を起したということをきいている。

§2 不同沈下による亀裂の発生限界

建築物が全体に一樣な沈下をする場合は、外部とのパイピング接続部や排水に支障をきたすことがあるが障害としてはあまり目立たない。これに反して建物が不同沈下し、不同沈下量がある限度を越すと構造体に亀裂を発生する。

そこで建物がどの程度の不同沈下を受けたならば亀裂を発生するか、いゝかえれば不同沈下亀裂を発生する変形角 θ (1図参照)の限界値いかんということが設計者の立場としてはまづ問題になる。しかしこれに関してとはかく問題を複雑化する種々の要素がからんて来て、限界値としてはっきりした数値を未だ求めえないというのが現状のようである。

この問題に関して筆者が2~4 階程度の主として鉄筋コンクリート壁式構造の建物を対象として調査した資料を参考までに掲げれば次のようになる。すなわちまづ建物の実測不同沈下曲線の相隣る2測定点間の傾斜を示す角 θ をとってこれを変形角と名付け、これが建物各部の変形の大小をあらわすものとする。つぎに2図の、たとえば建物番号No. 1という建物について、ある変形角を起している部分に亀裂を発生していれば縦軸のその変形角にあたる点にx印をつけ、また亀裂の見当らない変形角の部分には○印をつける。2図



2図：鉄筋コンクリート建物の亀裂発生限界値

は鉄筋コンクリート造の建物13棟について、不同沈下の実単値から求められる θ と亀裂観測の結果を、このような要領によってとりまとめたものである。この図でみると、 $\theta = 1 \times 10^{-3}$ と $\theta = 2 \times 10^{-3}$ の間の領域内にはほぼ同数の○印と×印が含まれており、この領域より上または下部の部分ではそれぞれ×印または○印が圧倒的に多い。従ってこのことから

$$\theta = 1 \sim 2 \times 10^{-3} \quad (\text{あるいは } 1/500 \sim 1/1000)$$

という変形角が亀裂を発生する一種の限界であるとみなすことができよう。

ちなみに、筆者はかつて厚さ8~10cmのほぼ実大に近い鉄筋コンクリートの無開口壁体について剪断試験をおこなったことがあるが、そのときの実験では亀裂発生時の部材角は $\theta = 0.13 \sim 0.27 \times 10^{-3}$ であった。これに比べて前記の値は、相当の開口を有するにもかかわらず約7~8 倍のオーダーになっていることは注目に値する。これはおそらく、上記の実験では試験機によって急速に荷重をかけたのに対し、実際の建物の不同沈下は長

期間に進行する変形であって、この間にコンクリートがクリープしてかなりの大きい変形量まで亀裂を生ずることなく追従しうることを、実際の不同沈下のうちのある部分は、いまだコンクリートが固まっていない施工中またはその直後に起ったものであるということによるものであろう。

建築物が障害を生ずる限度となる沈下の値に関しては従来より多くの研究者によって数値が与えられているが、これを一括して示せば1表のようになる。

1 表 : 沈 下 許 容 値

発表者名 (年次)	構造形式	全沈下	不同沈下	変形角
Baumann (1873)	壁式	$1\frac{1}{2}''$		
Jenny (1885)	ラーメン	2~3''		
" (1891)	"	2''		
Furdy (1891)	—	3~5''		
Simpson (1934)	ラーメン	4~5''	2''	
Terzaghi (1935)	ラーメン	2		
	煉瓦			1/285
Terzaghi & Deck (1948)	ラーメン	(1~2)		1/320
Tschebotarioff (1951)	煉瓦	2~3''	1''	
Ward & Green (1952)	"			1/480
Meyerhof (1953)	ラーメン			1/300
	壁式			1/1000
	煉瓦			1/600
Skempton (1956)	—	2~3''	$1\frac{1}{4}'' \sim 1\frac{3}{4}''$	1/300
筆者 (1956)	—			1/500~1/1000

この表でみられるように、許容量の与え方も人によって全沈下、不同沈下、変形角等の別があり、また与えられた値にもかなりに大きい開きがある。

§3 不同沈下障害に対する対策

建築物が不同沈下を起すと構造体に変形が生じ、変形がある限度を越すと亀裂を生ずる

のは避け難いことであるから不同沈下による障害を防止する対策としては、結局建物の不同沈下そのものを防止するか、あるいはこれを小さい値におさえること以外にはない。しかし地盤の性状というものは、きわめて複雑であり局地的なものであって、不同沈下に対する対策も到底一律に律することはできず、多分に現場々々に応ずる臨床的な要素が多い。

(1) まづ第1の要件は、設計に先立って充分な地盤調査を実施することである。あらかじめ充分な地盤調査をおこなって、敷地内の地盤構成を正確につかみ、敷地内における地盤の性状とその変化をはっきりさせておけば、§1で述べたような障害の諸例は比較的簡単に防止しうる性質のものである。

(2) 地盤の性状を明らかにした上で、不同沈下を防止または軽減する具体的な方法については詳説する余裕がないが、これを大別すれば

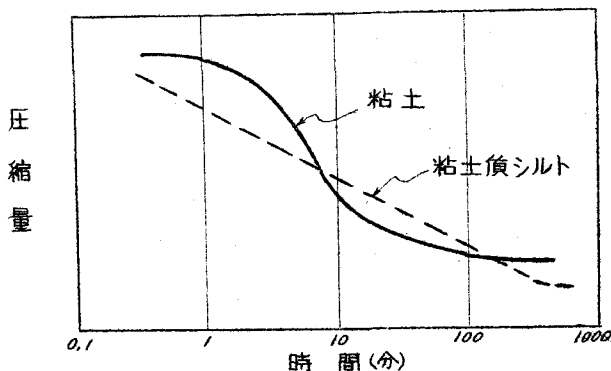
(a) 上部構造についておこなうもの

(b) 基礎構造についておこなうもの

(c) 地盤そのものについておこなうもの

に分けることができ、また場合によってはこれらを巧みに組合せることで問題を解決しうることが多い。

(3) 不同沈下によって一旦亀裂発生等の障害を起してしまうと、いわゆるアンダーピンニングというようなきわめて高価な方法にでもよらない限り、これを補修しあるいは将来の進行を停止させるような補強の方法が殆んどないというところに不同沈下による障害の重大性がある。普通最も安直な方法として、亀裂にモルタルあるいはアスファルトを詰める等の方法がおこなわれているが、これは沈下が既に停止したものか将来まだ進行



3図：圧密試験における圧縮量—時間曲線

するものを確かめなければあまり意味がない。土の試料についていわゆる圧密試験をおこなった際、土が純粹の粘土ならば圧縮量—時間曲線は3図に実線で示したような逆S字型となり、この場合は沈下が停止するまでの時間を推定することが理論的にも可能であり、实例によっても確かめられているが、我が国の軟弱地盤地域で多くみられるような粘土質シルト層の場合はこの曲線が図に点線で示したように直線状となり、この場合沈下停止時期の推定を近似的におこなうことも困難であって、純粹な土質力学の問題としても将来に残された大きい課題の1つとなっている。