近接掘削工事に起因する戸建住宅の基礎の障害について

STRUCTURAL DAMAGE OF DETACHED HOUSES' FOUNDATION CAUSED BY NEIGHBORING EXCAVATION WORKS

田村 昌仁*, 伊奈 潔**, 藤井 衛***

Masahito TAMURA, Kiyoshi INA and Mamoru FUJII

This purpose of this study is to present the characteristics of damage of detached houses caused by the neighboring excavation work. Using the field data, we investigated the relationship among the level of damage, the ground deformation and the degree of structural damage in detached houses. Damage was larger in the case when the detached house had the cracks in the continuous footing before excavation. It was also noted that damage increased when the inclination angle of houses to the horizontal was larger than 5/1000, irrespective of whether the continuous footing had reinforced or not.

Keyword : footing, settlement, detached house, excavation

基礎, 沈下, 戸建住宅, 掘削

1. はじめに

住宅に不同沈下が発生した場合, その発生原因には2つの要因が考えられる。一つは内的要因と呼ばれるもので, 基礎の選定ミスや不十分な地盤調査法, 地業の転圧不足など, 主として設計者や施工者の注意義務の怠慢に基づくものである。他の1つは外的要因と呼ばれるもので, シールド工事や下水道工事など主に地盤の変動によって周辺の住宅に不同沈下を発生させるものであり, 一概に設計者や施工者の瑕疵とは断定できないものである。内的要因については, 先般, 建築基準法の改正に伴い, 国土交通省告示1347号が制定され, 戸建住宅の基礎の寸法・配筋等の最低基準が規定されたり, また, 最近では圧密沈下に基づく不同沈下の実態調査も盛んに研究されてきており, この方面の研究資料も充実しつつある^{1)~6)}。一方, 外的要因については, 掘削工事に伴う山留壁の変位や山留壁周辺の地盤面の変位について調査・報告がなされた論文や^{7)~9)}, 沈下障害の調査方法や評価方法に関する文献はあるものの^{10)~12)}, 不同沈下の大きさと住宅の障害を調査した最近の研究は少なく, わずかに沈下障害の現状を報告した研究がいくつかあるにすぎない^{13), 14)}。

本報告では, 近接掘削工事を行う際に周辺住宅に発生する沈下障害を極力防止できるよう掘削工事の施工者に有効な情報を提供する事を目的に, これまで近接掘削工事によって発生した住宅の沈下

障害を分析し, 地盤変動の大きさと住宅の沈下障害レベルとの関係や障害が発生しやすい建物及び基礎の鉄筋の有無が住宅の不同沈下量に及ぼす影響を明らかにした。

2. 近接掘削工事周辺住宅の基礎の仕様について

2-1. 調査方法

調査対象とした地域は, 都内及び近郊の42地域で図-1に示すような軟弱な地盤(粘性土N値5以下, 砂質土10以下)である。表-1には, 調査方法, 調査項目を示しており, 建築年代や基礎仕様, 障害度・近接掘削工事の概要など多岐に及んでいる。調査棟数は合計1858棟であるが, 調査項目の全てを調査棟数のすべてに対して把握できたわけではないので, 分析結果の図表毎に棟数を示しているが, ほとんどの分析は200棟以上の結果に基づいている。

表-1 沈下障害の調査項目

規模構造	構造・階数・建築面積・延床面積・平面形状
建物仕様	屋根・外壁・建築年代・基礎形式
基礎仕様	全高・地上高・立上幅・ベース幅 鉄筋有無・縦筋ピッチ
障害調査	不同沈下量・傾斜量・変形量・障害度
その他	盛土・増改築有無
近接工事概要	土質区分・掘削幅・掘削深・矢板種類・矢板長等

* 独立行政法人建築研究所 工博

** 中央建鉄中央技術研究所

*** 東海大学工学部建築学科 教授・工博

Building Research Institute, Ministry of Construction, Dr. Eng.
Chuo Kentetsu Chuo Technical Research
Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering,
Tokai Univ., Dr. Eng.

図-1 調査地域の代表的な地盤条件

基礎仕様の形状測定は、地上部は直接実測し、埋設部は鉄筋を挿入してベース位置、ベース幅の測定を行った。基礎鉄筋の有無に関してはメタル探知機及び聞き取りに基づいて判定した。その他の項目については聞き取り、若しくは目視調査を行った。

2-2. 基礎仕様調査結果

基礎仕様の調査結果から判断すると、標準的な仕様は図-2 のようであった。なお、この図は、基礎寸法、鉄筋の有無を確認した 243 棟を対象にしている。鉄筋コンクリート基礎（以下「有筋基礎」）の基礎高は 35～60 cm、50 cm 以上の高さのものが多く、80～100cm のものも見られた。立上がり厚は 13～15 cm と、やや無筋コンクリート基礎（以下「無筋基礎」）（12～13 cm）に比べて厚く、ベース幅は 35～55 cm と無筋基礎との差は見られなかったが、無筋基礎の中にはベースのないものも多く見られた。鉄筋径は調査できなかったものの、縦筋のピッチは@300 で有筋基礎は全体の 3 割強であった。

我が国の住宅基礎の仕様に関しては、従前の建築基準法では特別の規定がなかったため、住宅金融公庫の工事標準仕様書が参考とされてきた感があるが、有筋基礎の仕様が追加されたのは、1982 年の改定である¹⁵⁾。図-3 は鉄筋の有無と建築年代を確認した 285 棟を対象に整理し、建築年代に対する基礎の鉄筋の有無と割合を示したものである。この図から 1982 年の仕様改定後から有筋基礎の割合が多くなっていることがわかる。

図-2 実態調査による基礎形状

図-4 角度の取り方

図-3 建築年代と基礎鉄筋の有無(285棟)

3. 近接掘削工事と障害度

3-1. 近接掘削工事によって発生した地盤変動の大きさと障害発生との関係

近接掘削工事によって障害が発生した住宅のうち、掘削幅、掘削深さ、矢板長等の工事規模が判明している 223 棟について基礎の鉄筋の有無別に障害の発生状況を分析した結果を以下に示す。

対象とした工事は掘削深さが 4m 程度の小規模の開削工事である。仮設山留は地盤条件などにより異なるが、主に軽量鋼矢板及び鋼矢板、1～2 段程度の木製又は鋼製支保工である。図-4 は建物の位置と掘削深さや矢板長の先端とのなす角（以後「近接角」と呼ぶ）との関係を示したものである。矢板長に対しては θ_1 、掘削深さに対しては θ_2 として表している。 θ_1 、と θ_2 を障害のパラメータとしたのは次の理由による。掘削時においては、山留壁の変形や掘削底の膨れ上がり等が周辺地盤を変動させる可能性があり、この場合は θ_2 の大きさが問題となる。一方、埋戻し時においては、矢板の引抜きが周辺地盤を変動させる可能性がある。¹⁷⁾ この場合 θ_1 の大きさが問題となる。以上の理由により、掘削深さと矢板全長の 2 つの場合の近接角を検討の対象とした。なお、障害度は障害内容別に表-2 のように区分した。ここで言う障害の発生とは表-2 の内容（区分 A.B.C）のことを指す。図-5 は近接角の大きさと障害の発生件数を鉄筋の有無別に示したものである。図-5 によると、障害の発生は基礎の鉄筋の有無に関わらず近接掘削工事に対して建物の位置が、矢板長に対する近接角 θ_1 で 30° の範囲、掘削深さに対する近接角 θ_2 では 45° の範囲までの位置にある場合に障害の発生頻度が大きいのことがわかる。なお、この図は、障害の発生を確認したもののうち矢板長、掘削深さと住宅までの距離の関係を把握した 223 棟の分析

表-2 障害度区分

区分	障害の内容
A	A-4 構造躯体に変形等が生じている場合
	A-3 土間コンクリート亀裂、外壁亀裂、擁壁傾斜、建付不良、
	A-2 床不陸、ブロック塀亀裂、内壁クロス亀裂、等
	A-1 (レベル3一部2を含む相当程度)
B	構造躯体に軽微な変形等が生じている場合 土間コンクリート亀裂、外壁亀裂、建付不良、ブロック塀亀裂等 (レベル2相当程度)
C	構造躯体には変形等が生じていない場合 土間コンクリート亀裂、建付不良等 (レベル1相当程度)

・()内は品確法第70条技術的基準の不具合事象のレベルに対応
・障害度Aはさらに1～4に障害度を区分、詳細は表3を参照

結果である。 θ_2 に関しては、これまで $\theta_2 < 45^\circ$ の範囲が影響範囲であると考えられていたが、今回の調査地域のような軟弱地盤の場合では、 $\theta_2 = 45^\circ \sim 60^\circ$ であってもある程度の障害が発生していた。すなわち、 $\theta_2 > 45^\circ$ でも障害の発生が皆無とはいえないようである。

図-6は、建物端の沈下量と住宅までの距離を矢板長で除して無次元化して表した数値との関係を示したものである。これによると、影響範囲は矢板長の最大2.5倍程度であることがわかる。ここで言う沈下量は内部床における水盛管測定から図-7の方法により表した値であり、C点の不同沈下量 α である。本来、沈下量>不同沈下量であるが、住宅の奥行きは概ね10m程度で、対象とした工事は掘削深さが4m程度の小規模であるから、基準点となるA点の沈下は微小であり、沈下量 $\approx$ 不同沈下量と見なし、ここでは便宜上、不同沈下量を沈下量として扱った。また、住宅敷地の地盤条件や住宅の構造等、住宅側の要因により近接掘削工事反対方向に不同沈下するケースも見られたが、ここでは掘削工事側の要因を明確にするた

図-5 近接角の大きさ θ ($^\circ$)と障害発生件数 (223棟)

図-6 距離/矢板長と沈下量の関係 (205棟)

図-8 掘削深さの角度と障害度の割合 (外側: 無筋基礎167棟 内側: 有筋基礎56棟 計223棟)

図-9 矢板先端からの角度と障害度の割合 (外側: 無筋基礎164棟 内側: 有筋基礎56棟 計220棟)

傾斜角 a : BC間の沈下量 $(\alpha-\beta)$ /距離 $L1$
傾斜角 b : AB間の沈下量 (β) /距離 $L2$
変形角 θ : 傾斜角 a -傾斜角 b

図7 傾斜角と変形角の算出方法

め、これらのデータは除外した。なお、図-6は矢板長と近接建物までの距離、及び不同沈下量を確認した205棟の分析結果である。

3-2. 工事の規模と障害度との関係

図-8、図-9は同様に工事規模と障害度の関係を、基礎の鉄筋有無別に整理したものである。前章の障害の発生頻度では、基礎の鉄筋有無に関わらず、矢板長に対する $\theta_1 \leq 30^\circ$ 掘削深さに対する $\theta_2 \leq 45^\circ$ の範囲が最も大きくなったが、障害度を見ると、無筋基礎では $\theta_2 \leq 15^\circ$ が最も障害程度が大きい。また、 $15^\circ < \theta_2 < 45^\circ$ までは障害度は小さくなるものの、 $\theta_2 > 45^\circ$ を越えると再び障害度が大きくなる傾向が見られる。しかし、有筋基礎では角度が大きくなれば障害度は小さくなる傾向が認められ、無筋の場合とは異なる傾向が見られる。

無筋基礎の場合、近接掘削工事により住宅全体が大きく沈下すると障害度は当然大きくなるが、 $\theta_2 \geq 45^\circ$ とかなり離れている場合でも、建物の片側だけが沈下すると、沈下量が少なくても障害度が大きいようである。一方、有筋基礎の場合、非常に近接して掘削工事が施工され、住宅全体に沈下が生ずるような場合でもAランクの損傷が生じる割合が少なく、無筋基礎に比べて障害度が小さいことがわかる。なお、図-8、図-9は、それぞれ掘削深さと近接建物までの距離、障害度を確認した223棟及び矢板長と近接建物までの距離、障害度を確認した220棟を対象としている。また、有筋基礎は無筋基礎に比較して、障害度がかなり低い、かなり近接していると有筋であっても著しい障害が認められる割合が1割程度あるので、地盤の不同沈下に対しては現状の有筋仕様は必ずしも十分でないと考えられる。

図-10 および図-11 は、近接掘削工事側への住宅の不同沈下量と障害度の関係を示したものである。障害度は、定量的な目安を得るため、表-2 及び後述の表-3 に基づいて、障害度が大きいグループと比較的軽微なグループに区別した。障害が小さいものには、不同沈下

図-10 不同沈下量と障害の関係 (グラフ内の数字は件数 計666棟)
損傷度の小さいA-1、B、Cの場合

図-11 不同沈下量と障害の関係 (グラフ内の数字は件数 計368棟)
損傷度の大きいA-4、A-3、A-2の場合

図-12 従前の基礎亀裂の有無と障害度の割合 (253棟)

図-13 開口部の大小と障害度の割合 (253棟)

図-14 従前の傾斜角 θ (rad)における障害度の割合 (253棟)

図-15 建築年数と障害度の割合 (252棟)

量が2cmを越えるケースは少ないが、障害が大きいと2cmを越える不同沈下が生じる割合がかなり大きくなっていることがわかる。日本建築学会建築基礎構造設計指針では、木造建物布基礎の沈下量の限界値を標準値1.5cm、最大値2.5cmとしており¹⁸⁾、この数値は妥当なものと判断される。

3-3. 地盤変動による障害が発生しやすい建物

障害度は掘削深さ等の工事側の条件により大きく影響を受けることは明確であるが、近接掘削工事により障害が発生した住宅を分析してみると、工事着工前からすでに亀裂が生じている「従前の基礎の亀裂」(図-12)や開口部が大きい建物(図-13)ほど障害度が大きくなり、住宅側の条件によっても障害度に及ぼす影響が強いことがわかる。逆に、一見して障害度に強く関与していると思われるような、工事着工前からすでに生じている建物の傾斜具合「従前の傾斜量」(図-14)は、障害度に大きく影響を及ぼす要因ではないことがわかる。一方、建築年数(図-15)に関しては、逆に築年数が多くなれば障害度が小さくなるような傾向が見られる。なお、図-12～図-14は、障害度と従前の損傷、開口部の大きさ、傾斜角を把握した253棟を対象とし、図-15はそのうち建築年数を確認した252棟を対象としている。

3-4. 掘削深さが2～4mの工事における住宅の被害要因

対象となった工事の掘削深さは1～8mであるが、工事側の要因を一樣にするため、頻度の高い2～4mの工事について被害要因の検討を試みた。図-16は、地盤条件と沈下量、掘削深さを把握した142棟に対して、地盤種別毎に掘削位置から住宅までの水平距離と沈下量をまとめたものである。図-3に示すとおり、これらの地域は沖積層が10～30m堆積する軟弱な地盤地域であるが、粘性土地盤は砂質土地盤に比べてさらに沈下量が大きく遠方まで影響が及ぶ傾向が見られる。図-17、鉄筋の有無別にまとめたものであり、図-18は7段階に区分した沈下量の大きさと件数を鉄筋の有無別に整理したものである。図-17より、無筋基礎は有筋基礎に比べて沈下量も大きく掘削箇所から6m付近まで不同沈下が生じる。また、図-18より有筋基礎の場合、沈下量が3cm以下がほとんどであるのに比べて、無筋基礎ではこれを越えるものも多い。なお、図-17は鉄筋の有無と沈下量、掘削箇所からの距離を把握した87棟を対象とし、図-18は鉄筋の有無と沈下量を確認した89棟を対象としている。

4. 基礎の鉄筋有無と障害度の関係

4-1. 基礎の鉄筋の有無が不同沈下量や変形角に及ぼす影響

図-19, 図-20 は, 基礎の鉄筋の有無と沈下量 (不同沈下量), 傾斜角を把握した 117 棟に対して, 上部構造に見られる傾斜量, 変形

図-16 地盤種別の沈下量 (142棟)

図-17 基礎の鉄筋有無別の沈下量 (87棟)

図-18 基礎の鉄筋有無別の沈下量分布 (89棟)

図-19 基礎の鉄筋有無と傾斜角 (117 棟)

量との関係を鉄筋の有無別に整理したものである。各値は水盛管による床面の工事後の測定結果をもとに, 先の図-6 に示す方法によって算出した。傾斜角は工事箇所側の傾斜角 α として求めている。水盛管の測定位置は, 4 隅とその中間点であり, 図-6 の L1 と L2 は工事箇所にはば直交する面の奥行きを二分するように設定している。不同沈下量や傾斜角が負の値となるのは, 住宅敷地の地盤条件や住宅の構造等, 住宅側の要因により近接掘削工事反対方向に不同沈下しているケースである。また, 変形角が負の値となるのは建物が「中くぼれ型」に変形する場合である。但し, 障害度との関係を示す図-21, 図-22 に関しては角度の正負を区別せず絶対値とした。

図-19 と図-20 より明らかなように, 無筋基礎では不同沈下が生じた場合, 沈下量が大きく生じそれに伴い傾斜角, 変形角も増大する傾向を示している。これに対して有筋基礎の沈下量は無筋基礎に比べて小さく, 変形角は不同沈下量が增大しても大きく生じないことがわかる。このことから有筋基礎は, 沈下傾斜と変形に対して抑止効果があることがわかる。

4-2. 変形角と障害度の関係

基礎の鉄筋有無別の変形角と障害度の関係を図-21 に示す。この図は, 障害度と鉄筋の有無, 変形角を把握した 621 棟を対象に分析している。障害度は基礎の変形量と相関すると考えられるが, 同図によると 5/1000 以上の変形が生じた場合は基礎の鉄筋有無に関わらず障害度が大きくなるが, それ以下では同量の変形が生じてても, 有筋基礎の方が障害度が小さくなるのがわかる。

図-22 は, 図-21 の建物のうち, 近接掘削工事箇所に直交する一辺の基礎の亀裂幅と本数 (損傷程度) の関係を把握した 182 棟に対して, 変形角との関係を整理したものである。無筋基礎は沈下が生ずると即座に大きな亀裂が発生するのに対して, 有筋基礎は 5/1000 までは亀裂幅が小さく, 変形量の増大に伴い数カ所に分散して損傷する傾向が見られる。5/1000 を超えると急激に亀裂幅が大きくなり無筋基礎と大差が無くなる。これは変形量 5/1000 未満について言えば, 図-23 のように建物端部が沈下し中央が折れる

図-20 基礎の鉄筋有無と変形角 (117 棟)

図-21 変形角 (θ : rad) と障害度の割合 (外側: 無筋基礎 423 棟 内側: 有筋基礎 198 棟 計 621 棟)

ような変形を生じた場合、無筋基礎では変形が集中するのに対して、有筋基礎では基礎剛性が高いため基礎全体が一体に弓なりとなり、応力が分散されるため障害度が緩和されるものと考えられる。地盤変動が生じた場合、変形を生じさせないために有筋として基礎の剛性を高めることは非常に重要であるが、変形が生じた場合でも基礎の剛性により障害度が軽減できることがわかる。

図-24 は、障害度の最も大きいランク A のうち、基礎の鉄筋有無や障害度（表-3 の 4 段階）を把握し、さらに『公共事業に係る工事の施工に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理要領』¹²⁾並びに『損失補償標準算定書』¹⁶⁾に準拠して補償額（修復金額）が試算できた 81 棟を対象に、基礎の鉄筋有無別に障害度を示したものである。

無筋基礎であると障害度 A-4 の割合が多くなり、修復金額が非常に高額になる。これは障害度 A-4 になると、通常の損傷部分の修復に加えて沈下傾斜が著しく、揚屋（沈下修正）を行い修復する必要があるからである。沈下修正が必要かどうかの判断基準は、事業損失補償の事務処理要領等では明確化されていないが、傾斜角で 5/1000 以上を目安に、障害状況によって判断されているようである。図-25 は、障害度の検討において沈下修正（揚屋）が必要とされた建物のうち、傾斜角と変形角が把握できた 125 棟を対象に、傾斜角と変形角の関係を整理したものである。傾斜角が 7/1000 以上では、変形の有無に関わらず「建物が傾いていることを意識する。」「床に置いたものが転がる」「排水不良や建具が流れる」など、変形によ

る損傷よりも建物が全体的に傾斜することによる機能面の障害や居住性が損なわれることから沈下修正が必要と判断されている。また、傾斜角が 5/1000 以下の場合で沈下修正が必要とされた建物では、2/1000 以上の変形角が生じ、傾斜は大きくないが変形による損傷が著しく沈下修正が必要と判断されているものと考えられる。

表-3 障害度Aの詳細区分

障害度区分	修復金額	障害内容
A-1	200万未満	内外壁の亀裂・建付不良のほか床の不陸や軽微な基礎損傷が生じる
A-2	200～300万未満	A-1に加えて目立つ基礎損傷が見られる
A-3	300～500万未満	構造部の損傷が大きく一部沈下修正が必要となる場合がある
A-4	500万以上	構造部の損傷や傾斜が著しく沈下修正が必要となる

図-24 基礎の鉄筋有無別の障害度Aの詳細区分
(外側:無筋52棟 内側:有筋29棟 計81棟)

図-22 変形角と基礎の損傷程度の関係(182棟)

図-23 不同沈下による基礎の変形パターン

図-25 沈下修正建物の変形角と傾斜角(125棟)

5. まとめ

大規模な地下工事を行う場合には、周辺地盤の変動に十分注意して設計施工が行われるが、掘削深度 5～6m 未満の比較的小規模な掘削工事では沈下挙動を正確に予測することはまれである。そのため、予期しない理由により地盤変動が生じ、不同沈下障害が発生することがある。その原因としては、地盤に起因するものばかりでなく、建物側に問題がある場合もある。特に有筋の布基礎が増え始めたのは 1982 年以降であり、現存する住宅には無筋基礎のものもまだ数多く存在している。このことを踏まえて、以下に示す本研究の内容に配慮して適切な掘削工事を行えば、近接掘削工事による周辺住宅の不同沈下障害をかなり減らせることができると考えられる。以下に本論文の主な結論を簡条書きに示す。

- 1) 軟弱地盤において、矢板先端からの近接角が 30° 以下、掘削深さに対する近接角が 45° 以下の掘削工事においては、障害の発生が顕著である。
- 2) 不同沈下が発生する範囲（矢板から建物最短部までの距離）は矢板長の 2.5 倍程度である。
- 3) 無筋基礎は掘削深さに対する角度と障害度との間に明確な関係が認められるが、有筋基礎では密接な関係が認められない。
- 4) 有筋基礎は無筋基礎に比較して障害度は低いですが、矢板に近接していると無筋と同様に著しい障害が発生する。
- 5) 不同沈下量が 2 cm を超えると、重度の障害を有する建物が急増する。
- 6) 工事着工前から亀裂が生じている建物や開口部の大きい建物ほど障害が発生しやすい。
- 7) 無筋基礎では不同沈下の発生により、傾斜角、変形角も増加するが、有筋基礎では変形角の増大はあまり見られない。
- 8) 変形角が $5/1000$ 以上になると、基礎コンクリートの鉄筋の有無に関わらず建物には大きな障害が発生する。
- 9) 沈下修正が必要かどうかの判断基準の目安は、傾斜角の場合 $5/1000$ の大きさであり、変形角の場合 $2/1000$ の大きさである。

参考文献

1. 芳賀保夫: 木造建築物の不同沈下障害 (その 1: 傾斜角と損傷の発生), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1165-1166, 1987. 10
2. 芳賀保夫: 木造建物の不同沈下と障害, 土と基礎 Vol.41No.11, pp59-64, 1993. 11
3. 小規模建築物基礎設計の手引き, 日本建築学会, 1992.5.
4. 田村昌仁: 軟弱地盤における住宅の不同沈下, 日本建築学会構造系論文報告集No.420, pp153-161, 1991. 12
5. 藤井衛・田村昌仁・後藤年芳・伊集院博: 諏訪湖周辺の低層住宅の不同沈下調査事例による基礎の沈下抑制効果について, 日本建築学会構造系論文報告集No.538, pp93-100, 2000. 12
6. 藤井衛・伊集院博・田村昌仁・伊奈潔: 兵庫県南部地震における戸建て住宅の液状化被害と修復, pp9-14, 土と基礎 Vol.46No.7, 1998. 7
7. 間片博文・山田孝治・高橋良文・吉田保: シールド掘削における地盤沈下と家屋被害について, 土と基礎 Vol.28.No.6, pp.59-66, 1980. 6
8. 杉本隆男・佐々木俊平・山留め・掘削工事に伴う周辺地盤の変形の要因分析, 土質工学会研究発表会, p152-p153, 1985. 6
9. 和田克哉: トンネル標準示方書 (開削工法編) の地盤変状予測基礎工, Vol.25, No.4, p17-p22, 1997
10. 東京都下水道局, 損害補償実務の手引き, 2000
11. 横浜市下水道局, 損害補償業務マニュアル, 1996
12. 首都高速道路補償センター, 工損調査標準仕様書 (案) の解説, 中央用地対策連合協議会, 1992
13. 藤井衛・小宮一仁・伊奈潔・井上波彦・田村昌仁: 建設工事に伴う住宅被害の現状と健全性調査, 土と基礎 Vol.47No.4, pp15-18, 1999. 4
14. 田村昌仁, 間片博文, 藤井衛, 伊奈潔: 建設工事における周辺住宅の地盤沈下被害の現状と対策講習会テキスト, 地盤工学会, 1997
15. 田村昌仁, 藤井衛, 河合直人, 植田静喜: 戸建住宅を対象とした基礎・地盤の性能評価の考え方, 土と基礎 Vol.49.No.4, pp.4-7, 1980. 6
16. 建設省建設経済局調整課監修, 事業損失補償基準の解説, 1991
17. 前田高治 吉田 保: 開削工事に伴う周辺地盤の挙動, 土質工学会研究発表会, pp158-159, 1985. 6
18. 建築基礎構造設計指針 日本建築学会 2001.10

(2001年9月21日原稿受理, 2002年3月5日採用決定)