

東北地方太平洋沖地震による関東地方における 戸建て住宅の液状化対策工法の効果分析

橋本 隆雄¹・松下 克也²

¹正会員 千代田コンサルタント東京事業部防災まちづくり室 (〒114-0024 東京都北区西ヶ原3-57-5)
E-mail: t-hashimoto@chiyoda-ec.co.jp

²非会員 ミサワホーム総合研究所 (〒168-0071 東京都杉並区高井戸西 1-1-19)
E-mail: Katsuya_Matsushita@home.misawa.co.jp

2012 年東北地方太平洋沖地震では、茨城県南部の内陸部や千葉県の臨海部の埋立て地等の関東地方において、約 27,000 件もの戸建て住宅の傾斜・沈下等の甚大な液状化被害を生じた。そこで、既存の各種地盤対策工法が液状化対策工法としての効果を検証するために、大手住宅メーカー・沈下修復業者に対してアンケート調査を実施した。

本論文は、このアンケート調査の分析結果から、表層（浅層盤状）改良工法の方が柱状改良工法や鋼管杭工法が支持層にまで達していない場合よりも液状化が発生した際に建物の傾斜角および不同沈下量が小さく、高い軽減効果があることが明らかとなった。

Key Words : earthquake damage, liquefaction, building, subsidence of the ground, the slope of the buildings

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日にマグニチュード (M) 9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生し、関東地方においては、震度 6 弱を観測した茨城県南部の内陸部の潮来市・神栖市や千葉県北部の震度 5 を観測した臨海部の浦安市・船橋市等の埋立て地盤等において、継続時間の長い地震動を伴う液状化の発生によって、約 27,000 件もの戸建て住宅等の傾斜・沈下等の広範囲で甚大な被害を生じた。

今後のこの戸建て住宅の液状化対策としては、経済的で効果的な対策工法を評価する必要性が生じた。そこで、既存の支持地盤対策として施した各種地盤対策工法が液状化対策工法としての効果を検証するために、大手住宅メーカー・沈下修復業者から広くアンケート調査により情報の提供を依頼した。入手した全数は、東日本大震災で津波被害を受けた東北地方や新潟県等も含めた 494 件である。この中から、関東地方全域で液状化被害を受けた地域の 458 件および浦安市内の 257 件を抽出し、分析を行った。この分析の結果、柱状改良工法や鋼管杭工法が支持層にまで達していない場合は、表層改良工法の方が液状化が発生した際に建物の傾斜角および不同沈下量が小さく、高い軽減効果があることが明らかとなった。

2. アンケート調査

(1) アンケート調査の目的

現在、液状化被害による傾斜程度の評価基準は、品確法 (3/1000, 6/1000) , 被災度判定 (1/100, 1/60, 1/20) など、統一されたものとなっていない。液状化判定の結果を基に対策工を検討する場合においては、設計の許容値 (目標値) が明確でないため、どの程度の地震に対してどのような対策をすればよいのかが判らない状況にある。また、戸建て住宅の液状化被害の液状化対策としては、経済的で効果的な対策工法を評価する必要性が生じた。

このような現状を踏まえ、国土交通省は、東日本大震災から復旧・復興に向け、平成23年度補正予算により、建設技術研究開発助成制度「震災対応型技術開発」として、特に緊急性・重要性の高い「液状化」に係る技術開発課題に対し、国費を助成している。本論文は、この制度に採択された「宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究」(代表 横浜国立大学大学院谷和夫教授)の中の戸建て住宅の被災調査」として地盤改良等の戸建て住宅に対する実際の液状化被害軽減効果の現状分析と評価を行ったものである。

そこで、液状化により沈下傾斜した住宅において、生

活に支障を及ぼす傾斜の程度を数値化するために、沈下修復された、または、沈下修復する予定の住宅がどのくらい傾斜していたのかを明確にするために、大手住宅メーカー・沈下修復業者に対して下記の内容についてアンケート調査を実施した。

(2) アンケート調査の概要

調査の方法は、水平修復工事を実施している会社に対して、アンケート形式で実施した。アンケート調査票の配布先は、社団法人日本曳家協会の会員会社 51 社と NPO 法人住宅地盤品質協会の会員会社 503 社に対して行い、水平修復工事を実施した戸建て住宅の情報を収集した。

アンケート調査は、表-1に示すように以下の項目について行った。

- ①場所（住所）
- ②建物構造（木造、木造軸組、木質プレハブ、鉄骨造、RC造等）
- ③階数（1階、2階等）
- ④用途（住宅、集合住宅等）
- ⑤基礎の形式（布基礎、べた基礎）
- ⑥地震前の地盤補強（表層改良工法、柱状改良工法、鋼管杭工法、対策工法無し、深さ、本数）
- ⑦被害程度（最大傾斜角（N/1,000）、レベル測量結果（不同沈下量））
- ⑧修復工法（土台揚げ工法、耐圧版工法、鋼管圧入工法、薬液注入工法、硬質ウレタン工法）
- ⑨費用：万円（～250、250～500、500～750、750～1000、1000～）
- ⑩受注形態（住宅会社、オーナー、地盤改良会社等）

このアンケート調査の総数は、東日本大震災で津波被害を受けた東北地方や新潟県等も含めた 494 件である。この中から、関東地方全域で液状化被害を受けた地域の 458 件、そのうち浦安市内の 257 件を抽出して分析を行った。分析内容は、主に以下の項目について行った。

- ①地盤対策工法の傾斜と沈下量の関係
- ②沈下修復工法と建物の傾斜と沈下量の関係
- ③建物構造別の傾斜と沈下量の関係
- ④地盤対策工法別の傾斜と沈下量の関係

3. アンケート調査の結果¹⁾

アンケート調査の結果、以下の分析結果のように柱状改良工法や鋼管杭工法が支持層にまで達していない場合は、表層改良工法の方が液状化発生時に建物の傾斜

角および不同沈下量が小さく、高い軽減効果があることが明らかとなった。

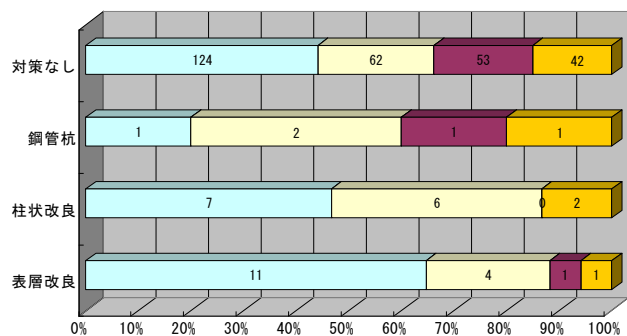
(1) 地盤対策工法の建物の傾斜と沈下量の関係

a) 地盤対策工法と建物の傾斜角の関係

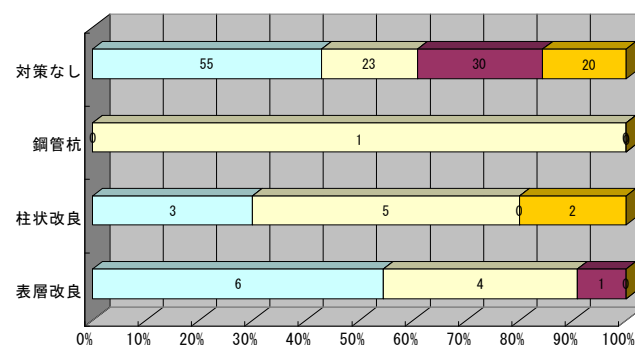
図-1 は、地震前の地盤対策工法として行った表層改良工法、柱状改良工法、鋼管杭工法及び対策工法無しの 4 区分と建物の傾斜角の関係を関東地方全域と浦安市内の場合で帯グラフにしたものである。この結果から表層改良工法は、他の工法に比較して建物の傾斜角が小さく、高い軽減効果があることがわかる。ただし、この改良工法および鋼管杭工法は、6.5m程度の長さで支持層まで定着していない。

b) 地盤対策工法と建物の不同沈下量の関係

図-2 は、地震前の地盤対策工法として行った表層改良工法、柱状改良工法、鋼管杭工法及び対策工法無しの 4 区分と建物の不同沈下量の関係を関東地方全域と浦安市内の場合で帯グラフにしたものである。この結果から表層改良工法は、他の工法に比較して建物の不同沈下量が小さく、高い軽減効果があることがわかる。ただし、浦安市内の鋼管杭工法は、1 件しかないので比較の対象として判断できない。



(a) 関東地方全域

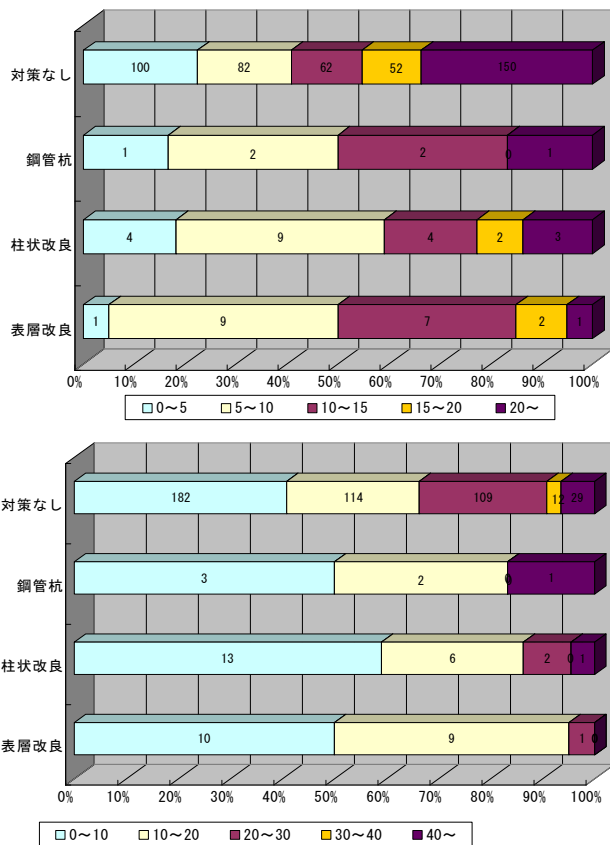


(b) 浦安市内

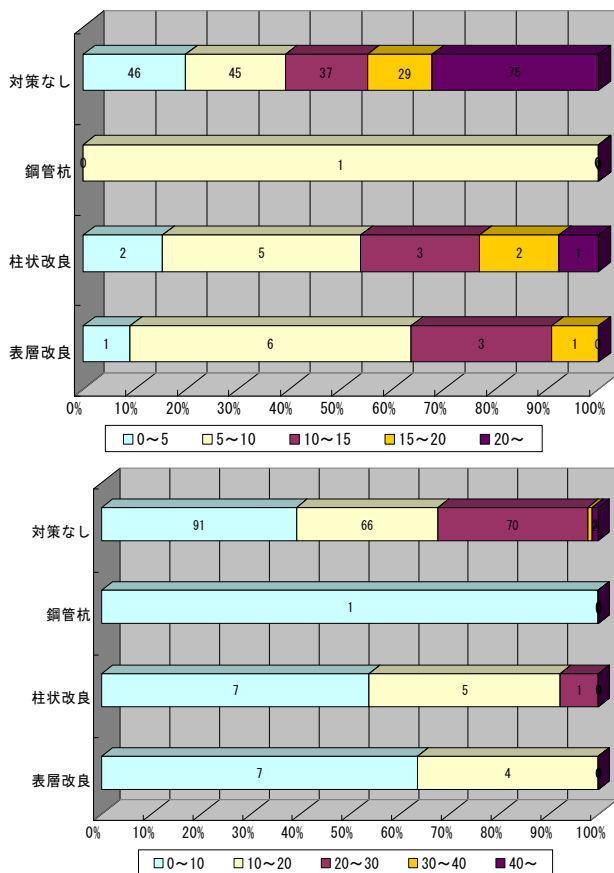
図-1 地盤対策工法と建物の傾斜角の関係

表-1 調査票

場 所(丁目まで)	建物構造	階数	用途	基礎	地盤補強	被害程度		修復工法					費用(万円)				
						傾斜角	不同沈下量	土台揚げ	耐圧版	鋼管圧入	薬液注入	硬質ウレタン	～250	250～500	500～750	750～1000	1000～
安市美浜3丁目	鉄骨造	2	住宅	布	柱状	16/1000	13cm		○						○		
東市美浜区磯辺5丁目	木質プレハブ	2	店舗併用	べた			24cm				○					○	



(a)関東地方全域

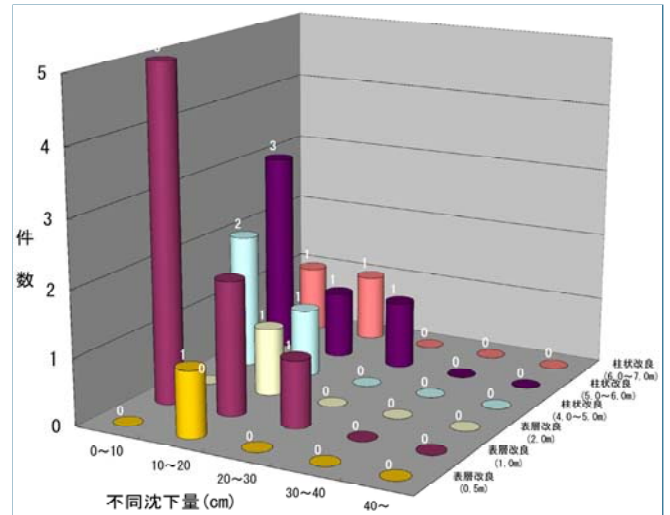


(b)浦安市内

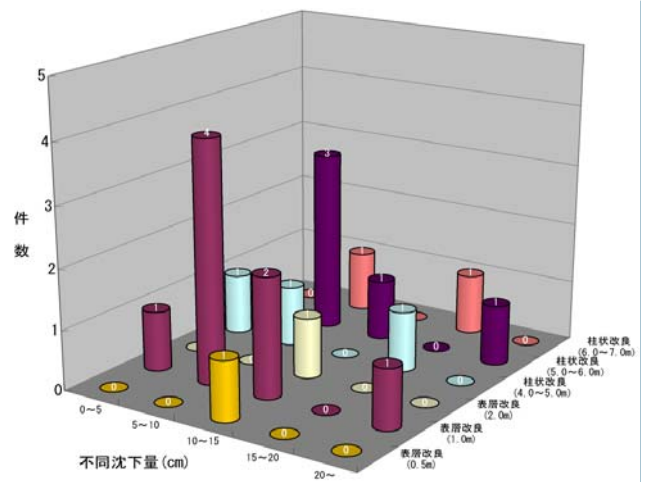
図-2 地盤対策工法と建物の不同沈下量の関係

c) 表層改良工法および柱状改良工法と建物の不同沈下量の関係

図-3 は、地震前の地盤対策工法として行った表層改良工法（0.5m, 1.0m, 2.0m）と柱状改良工法（4.0~5.0m未満, 5.0~6.0m未満, 6.0~7.0m）の場合と不同沈下量の比較を行ったものである。その結果、表層改良工法の方が柱状改良工法よりも不同沈下量が少ないことが分かった。



(a)不同沈下量 50cm 以下の場合



(b)不同沈下量 25cm 以下の場合

図-3 地盤対策工法と建物の不同沈下量の関係

(2) 沈下修復工法と建物の傾斜と沈下量の関係

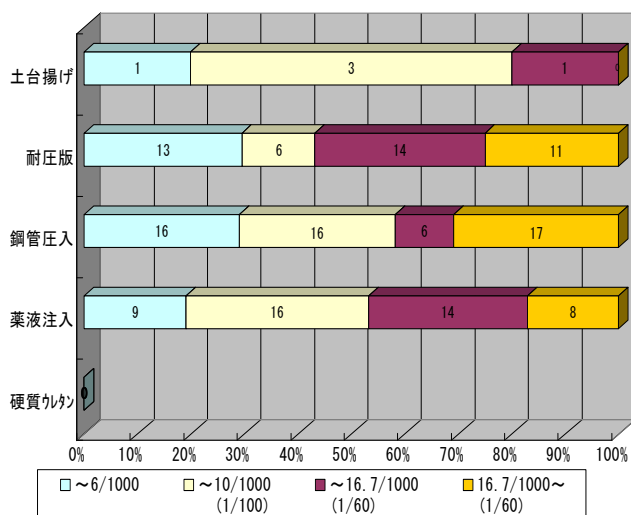
a) 沈下修復工法と建物の傾斜角の関係

図-4 は、地震後の沈下修復工法として行った①土台揚げ工法、②耐圧版工法、③鋼管圧入工法、④薬液注入工法、⑤硬質ウレタン工法の 5 区分と建物の傾斜角の関係を関東地方全域と浦安市内の場合で帯グラフにしたものである。⑤硬質ウレタン工法は、アンケート調査の結果で沈下のみ件数で傾斜の件数の記載がないために不明である。この結果から各沈下修復工法の傾斜角の目安は、以下になると考えられる。

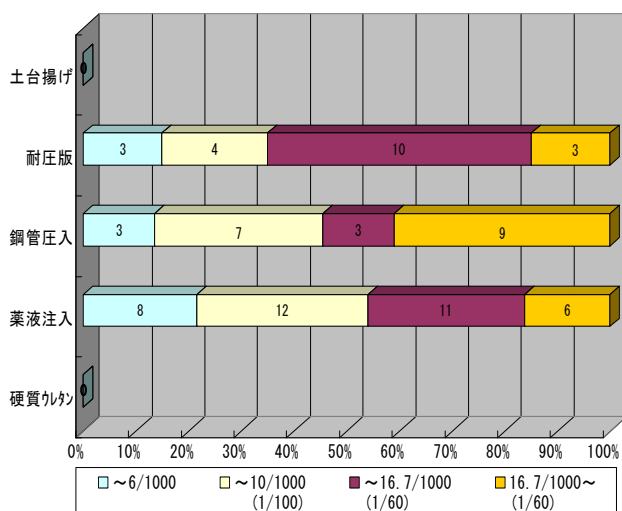
①土台揚げ工法：1/100 以下

②耐圧版工法：1/60 以下

- ③鋼管圧入工法：すべて
 ④薬液注入工法：1/60 以下
 ⑤硬質ウレタン工法：不明（傾斜のデータなし、沈下のみ）



(a)関東地方全域



(b)浦安市内

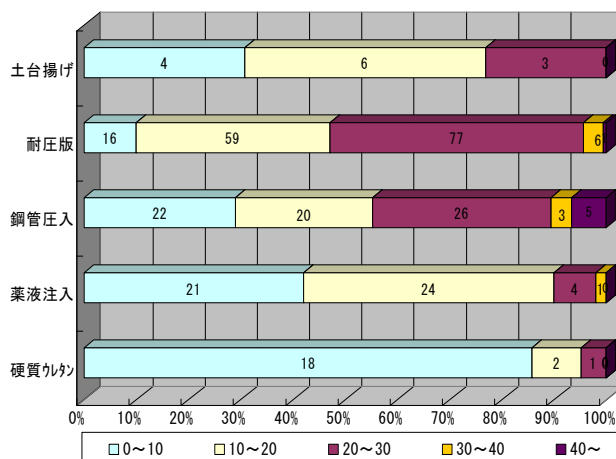
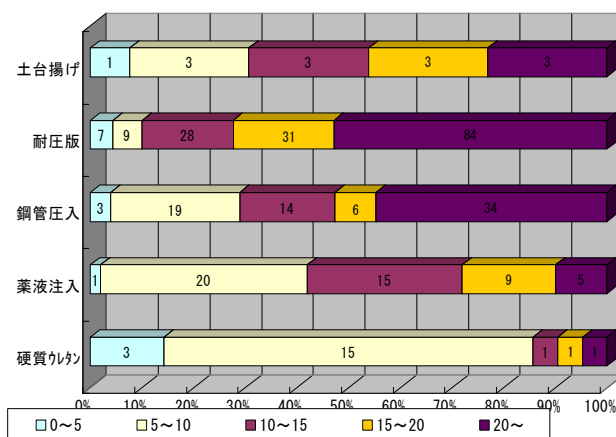
図-4 沈下修復工法と建物の傾斜角の関係

b) 沈下修復工法と建物の沈下量の関係

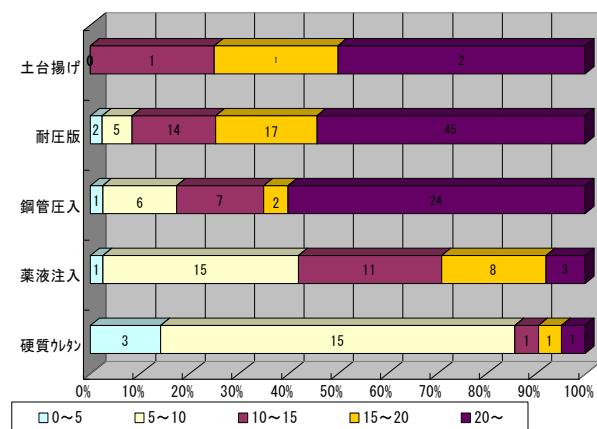
図-5 は、地震後の沈下修復工法として行った①土台揚げ工法、②耐圧版工法、③鋼管圧入工法、④薬液注入工法、⑤硬質ウレタン工法の5区分と建物の沈下量の関係を開関東地方全域と浦安市内の場合で帯グラフにしたものである。

この結果から各沈下修復工法の不同沈下量の目安は、以下のように考えられる。

- ①土台揚げ工法：20 cm 以下
 ②耐圧版工法：30 cm 以下
 ③鋼管圧入：すべて
 ④薬液注入：20 cm 以下
 ⑤硬質ウレタン：10 cm 以下



(a)関東地方全域



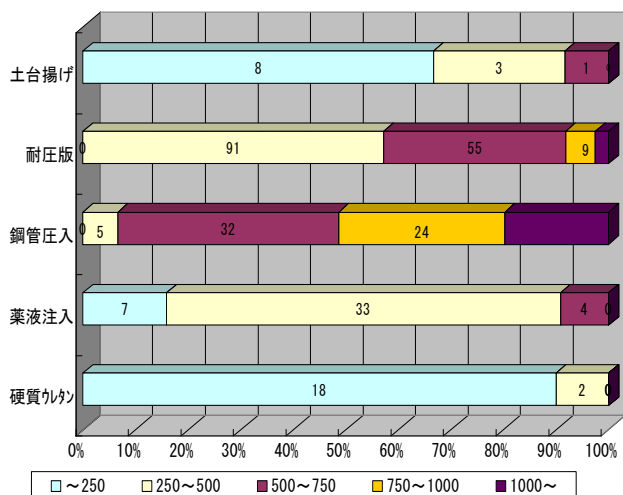
(b)浦安市内

図-5 沈下修復工法と建物の沈下量の関係

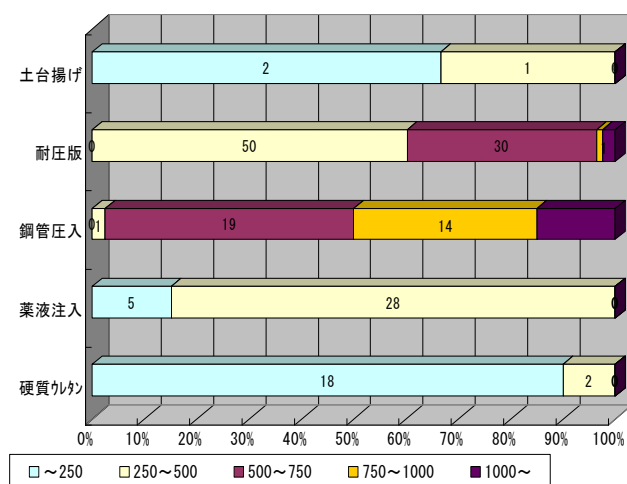
c) 沈下修復工法と費用との関係

図-6は、地震後の沈下修復工法として行った①土台揚げ工法、②耐圧版工法、③鋼管圧入工法、④薬液注入工法、⑤硬質ウレタン工法の5区分と費用の関係を関東地方全域と浦安市内の場合で帯グラフにしたものである。この結果から各沈下修復工法の費用の目安は、以下のようになると思われる。

- ①土台揚げ工法：250万以下
- ②耐圧版工法：750万以下
- ③鋼管圧入：750万～1,000万
- ④薬液注入：500万以下
- ⑤硬質ウレタン：250万以下



(a) 関東地方全域



(b) 浦安市内

図-6 沈下修復工法と費用との関係

(3) 建物構造別の傾斜と沈下量の関係

a) 全国における建物構造別の傾斜と不同沈下量の関係

図-7は、全国を対象とした木造枠組み、木造、鉄骨造の3つの建物構造別に傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、木造枠組み>鉄骨造>木造の順に大きい傾向になっていることが分かる。

b) 全国における建物基礎構造別の傾斜と不同沈下量の関係

図-8は、全国を対象とした木造枠組み及び木造建物構造別にのべた基礎と布基礎構造2つの傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、べた基礎木造枠組み>布基礎木造枠組み>べた基礎木造>布基礎木造の順に大きい傾向になっていることが分かる。

c) 関東における建物構造別の傾斜と不同沈下量の関係

図-9は、関東を対象とした木造枠組み、木造、鉄骨造の3つの建物構造別に傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、木造枠組み>鉄骨造≧木造の順に大きい傾向になっていることが分かる。

d) 関東における建物基礎構造別の傾斜と不同沈下量の関係

図-10は、全国を対象とした木造枠組み及び木造建物構造別にのべた基礎と布基礎構造2つの傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、べた基礎木造枠組み>布基礎木造枠組み>べた基礎木造>布基礎木造の順に大きい傾向になっていることが分かる。

e) 浦安市における建物構造別の傾斜と不同沈下量の関係

図-11は、全国を対象とした木造枠組み、木造の2つの建物構造別に傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、木造枠組み>木造の順に大きい傾向になっていることが分かる。なお、鉄骨造については、データが極端に少ないことから分析から除いた。

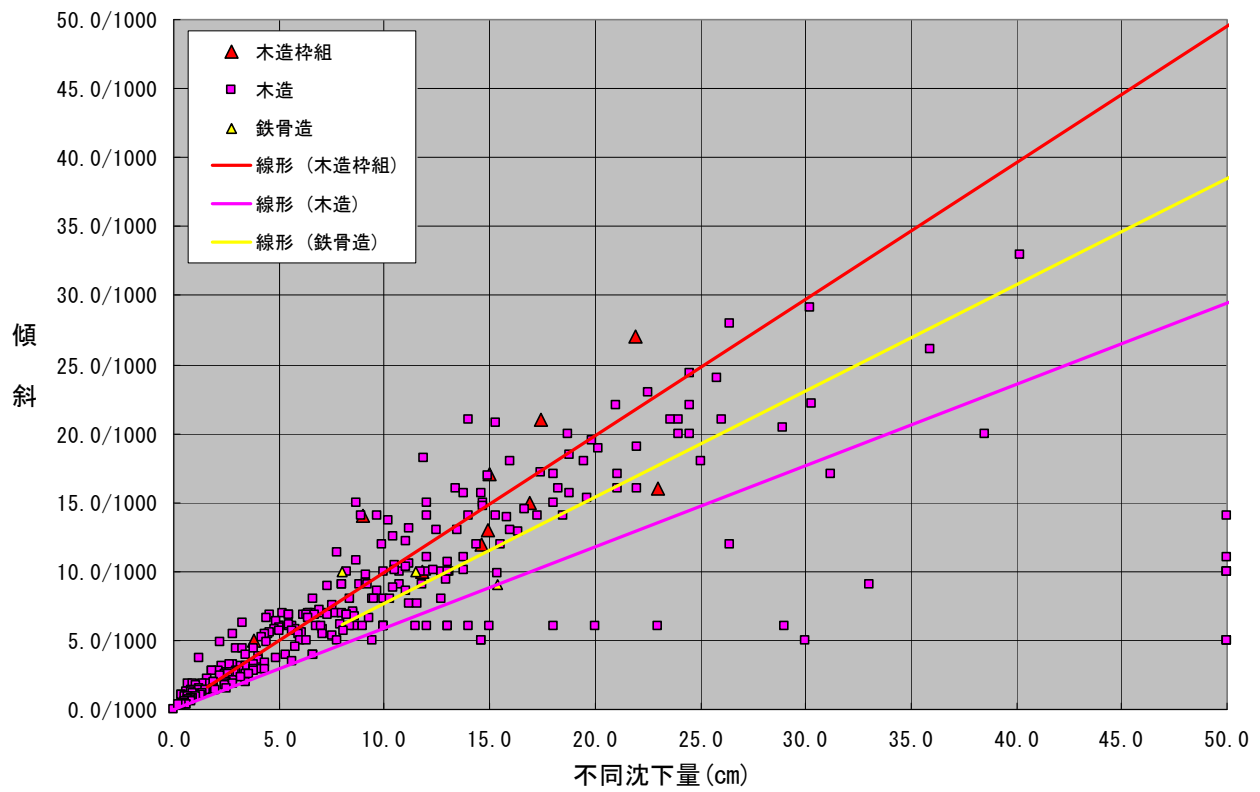
f) 浦安市における建物基礎構造別の傾斜と不同沈下量の関係

図-12は、全国を対象とした木造枠組み及び木造建物構造別にのべた基礎と布基礎構造2つの傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、べた基礎木造枠組み>べた基礎木造≧布基礎木造枠組み>布基礎木造の順に大きい傾向になっていることが分かる。

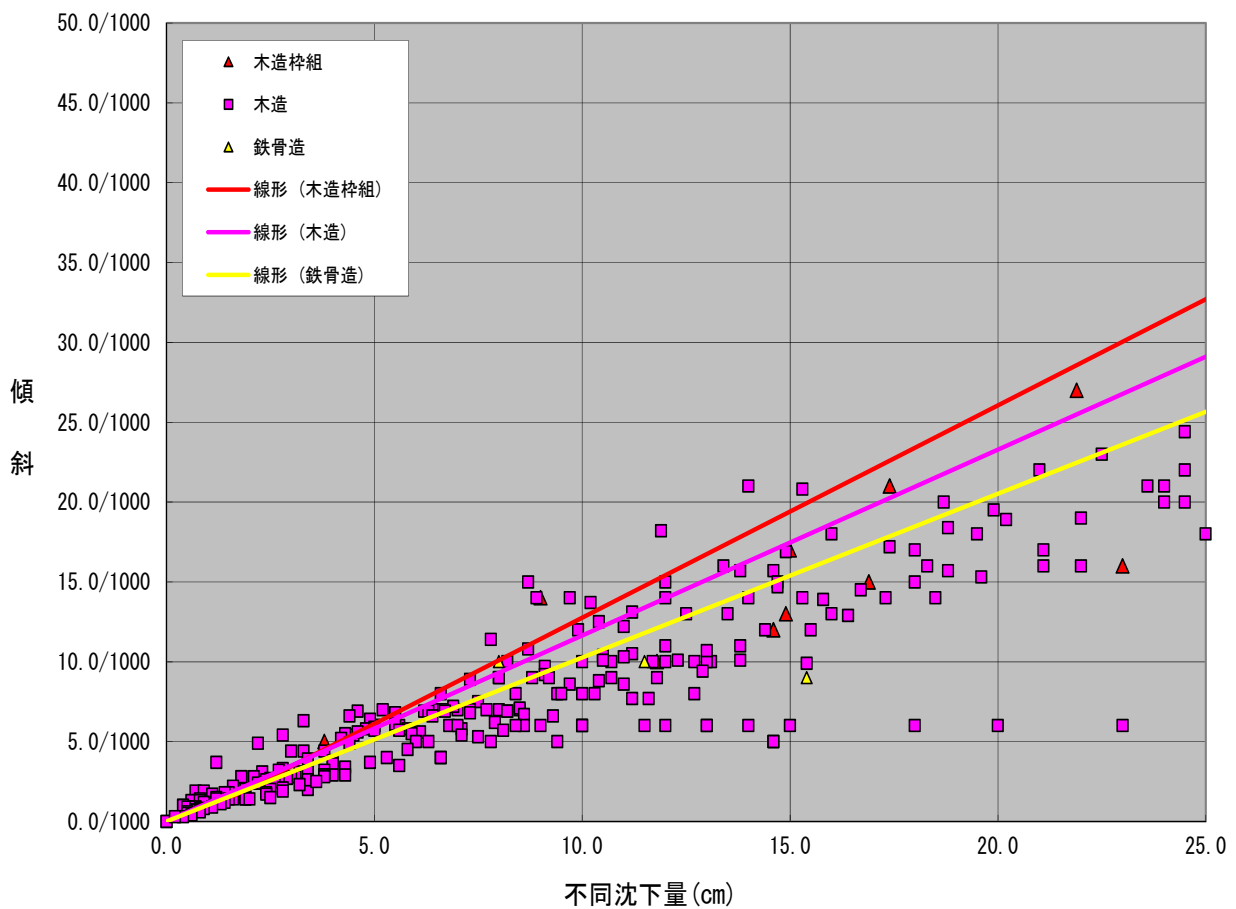
(4) 地盤対策工法別の傾斜と不同沈下量の関係

図-13～-15は、全国、関東、浦安市を対象とした地盤対策工法別に鋼管杭、柱状改良、表層改良の3つの傾斜と不同沈下量の関係を示したものである。この結果から、建物の傾斜に対して不同沈下量は、下記のような傾向になっていることが明らかとなった。ただし、鋼管杭や柱状改良の不同沈下量が大きいのは、対策の目的が液状化対策でなく支持力対策であるために深い支持層に達していないためである。

- ①全国：鋼管杭>表層改良>柱状改良
- ②関東：鋼管杭>柱状改良>表層改良
- ③浦安市：柱状改良>鋼管杭>表層改良

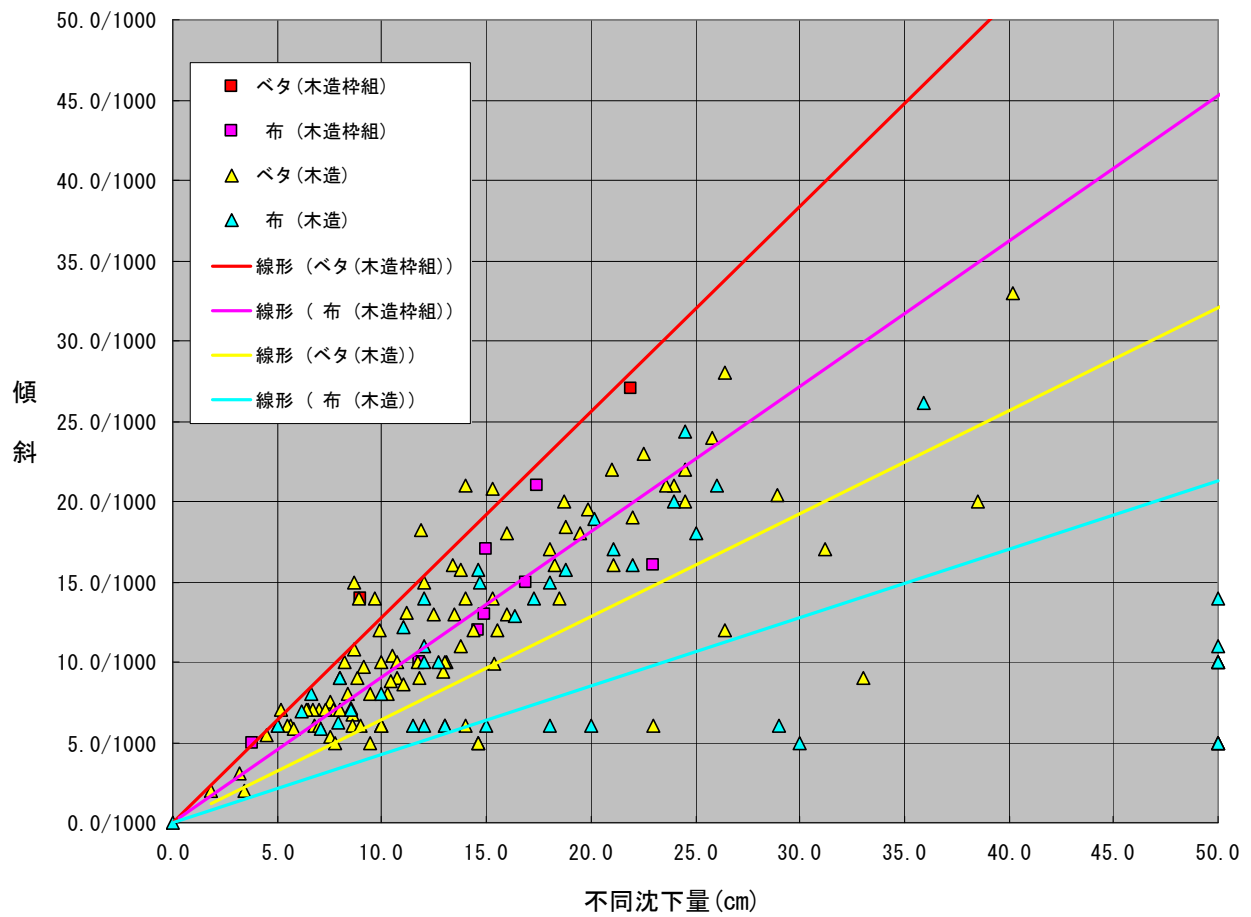


(a) 不同沈下量 50cm 以下の場合

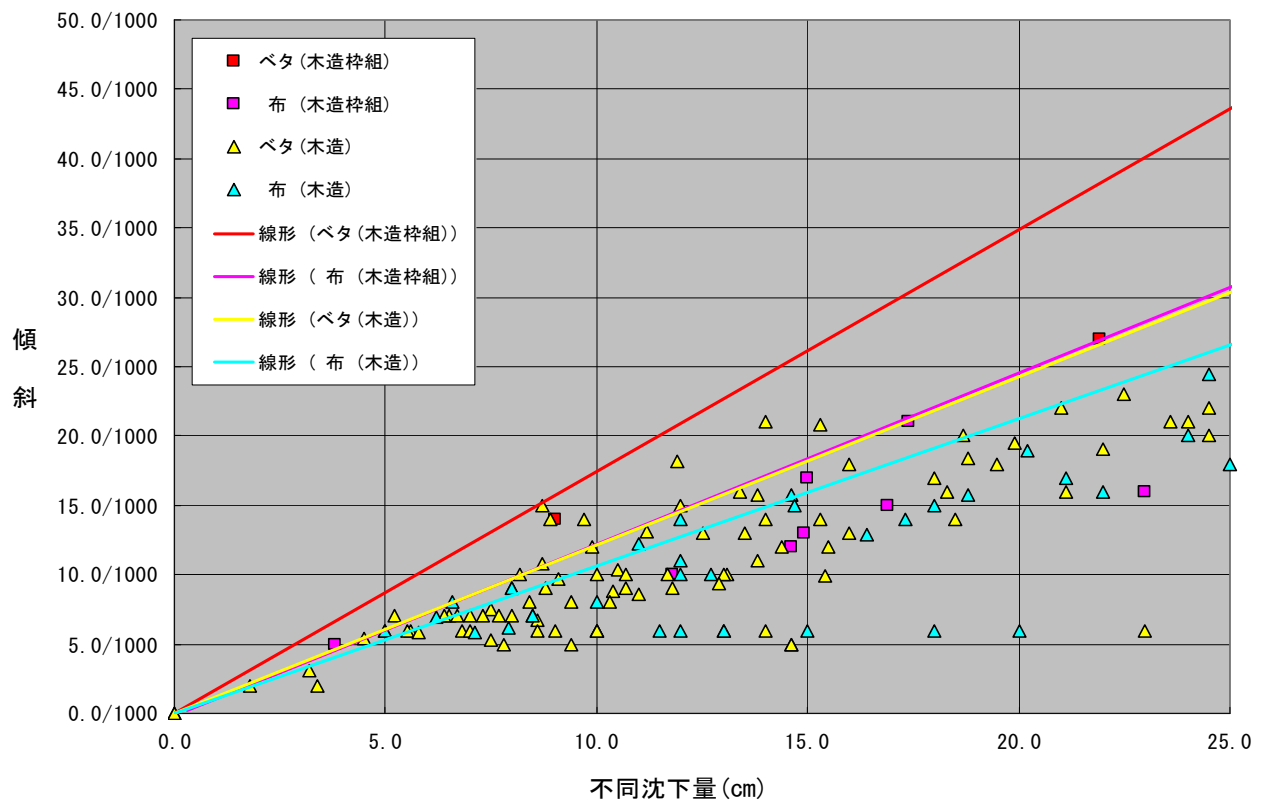


(b) 不同沈下量 25cm 以下の場合

図-7 全国における建物構造別の傾斜と不同沈下量の関係



(a) 不同沈下量 50cm 以下の場合



(b) 不同沈下量 25cm 以下の場合

図-8 全国における建物基礎構造別の傾斜と不同沈下量の関係

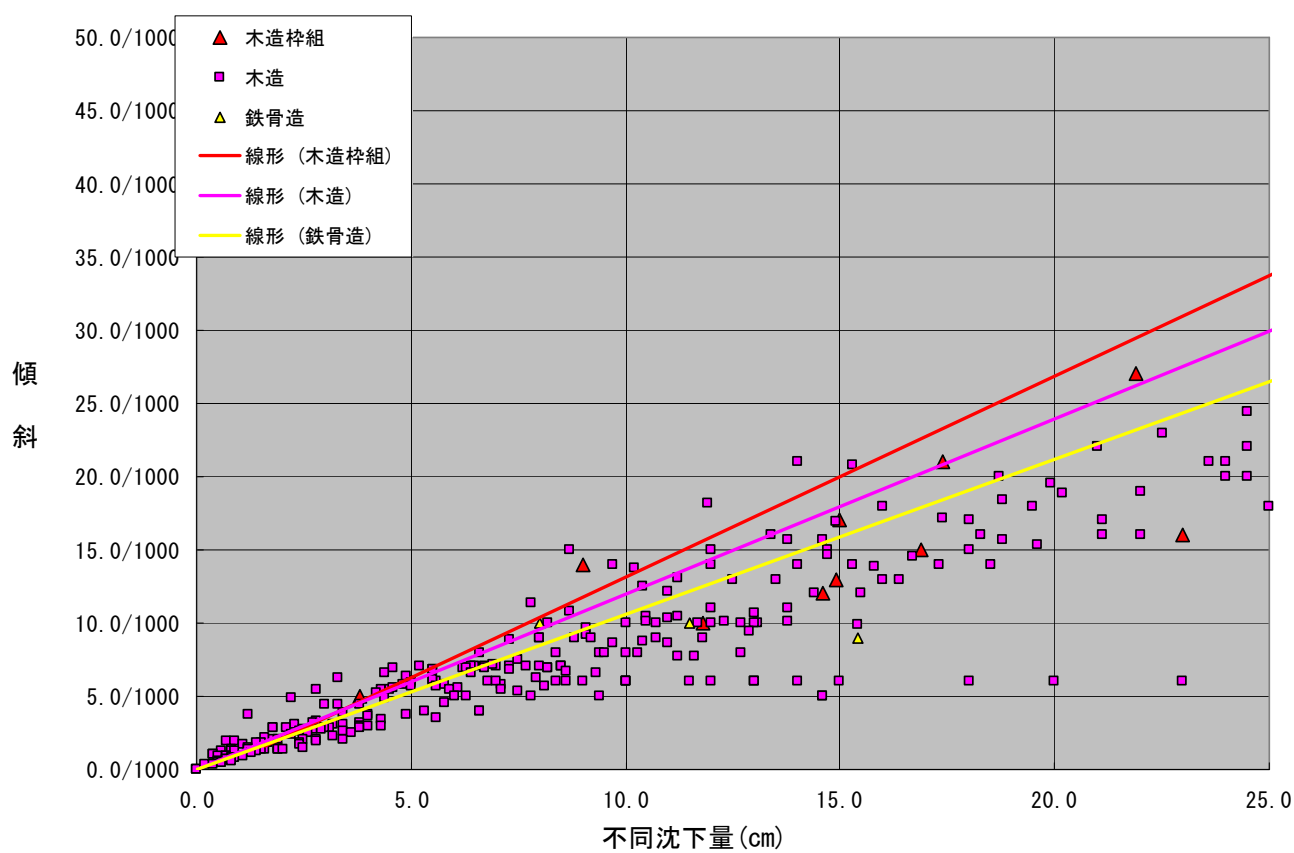
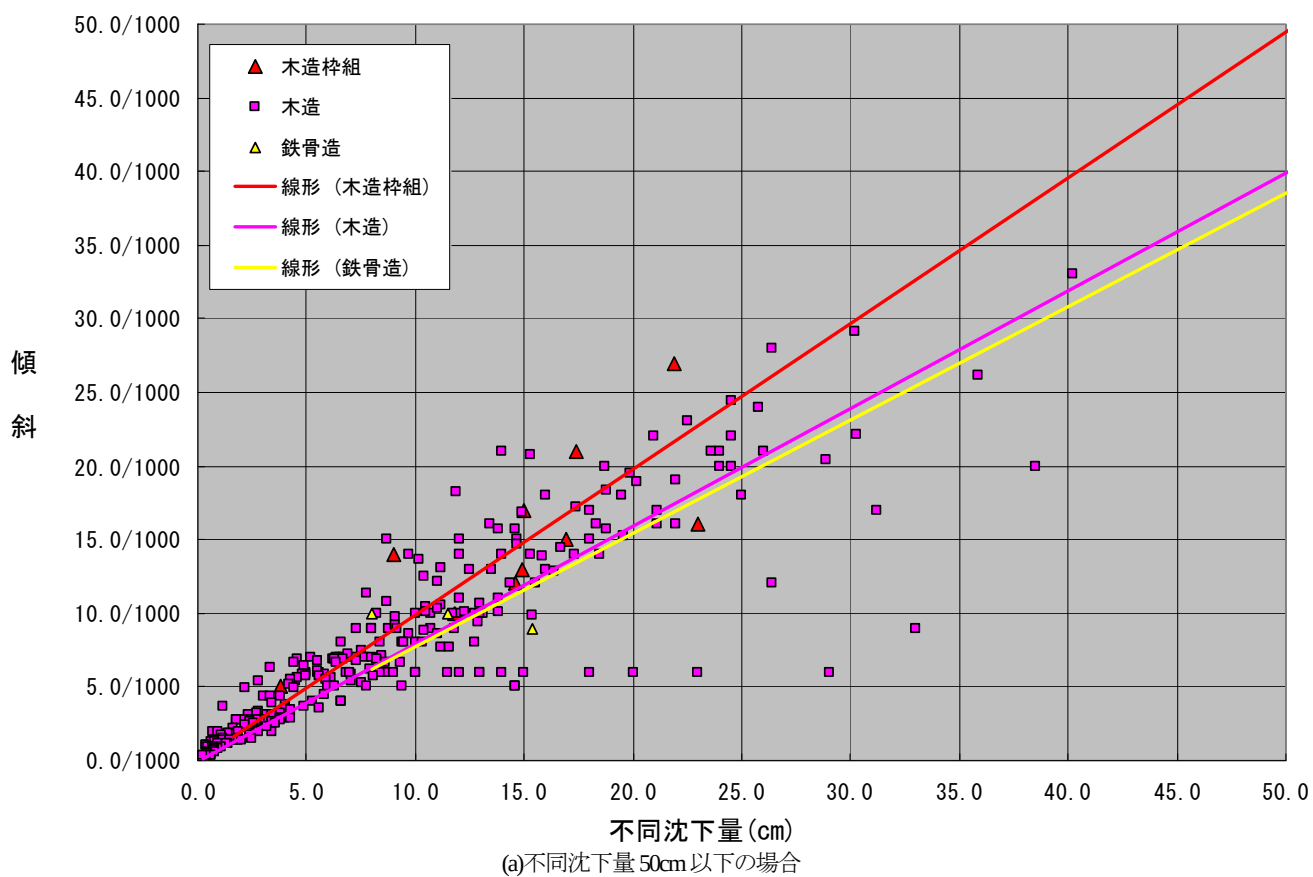
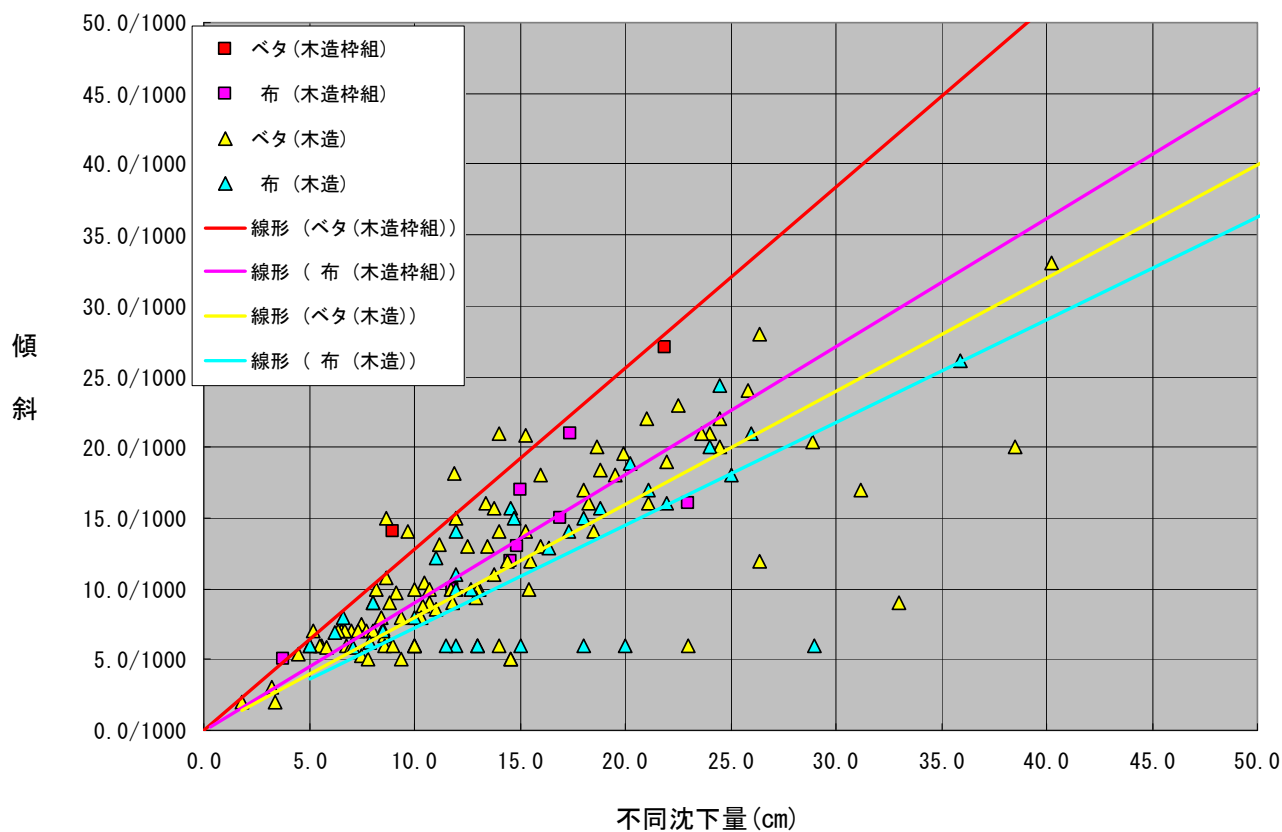
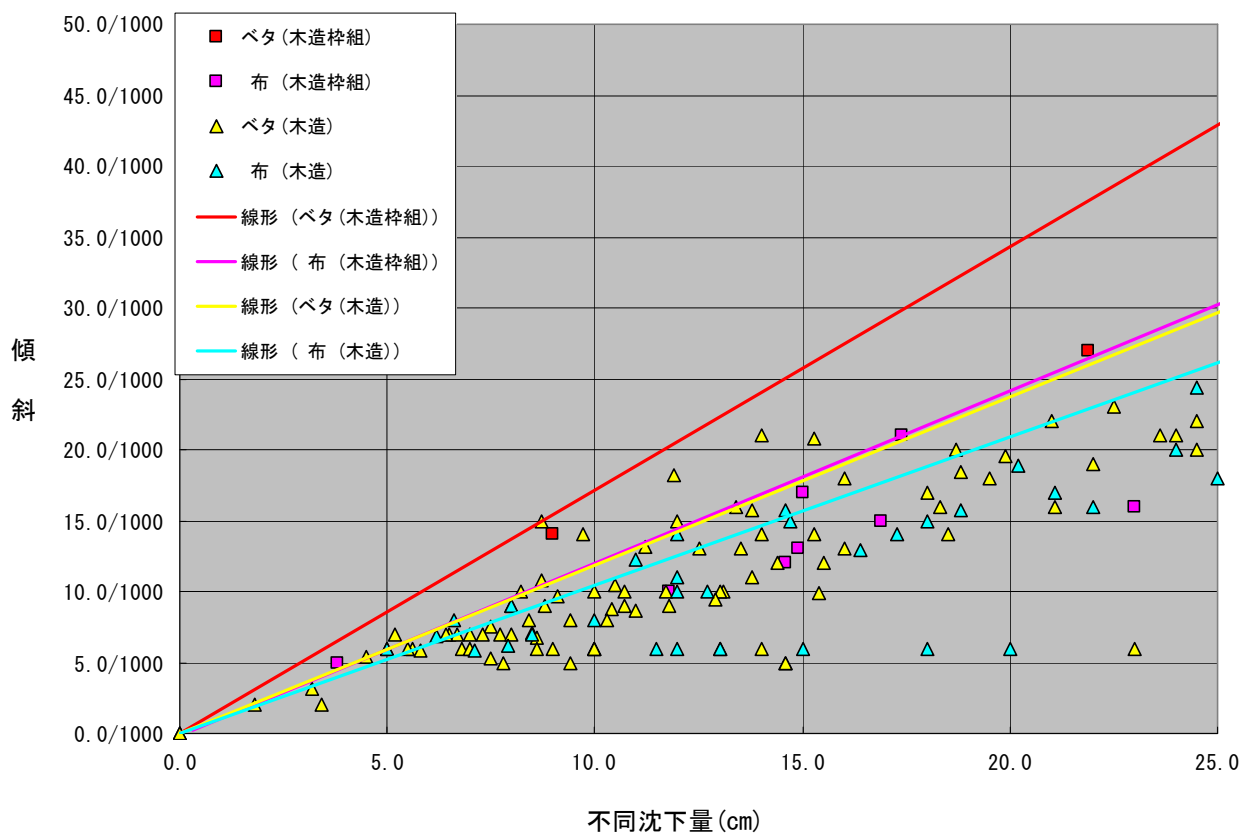


図-9 関東における建物構造別の傾斜と不同沈下量の関係

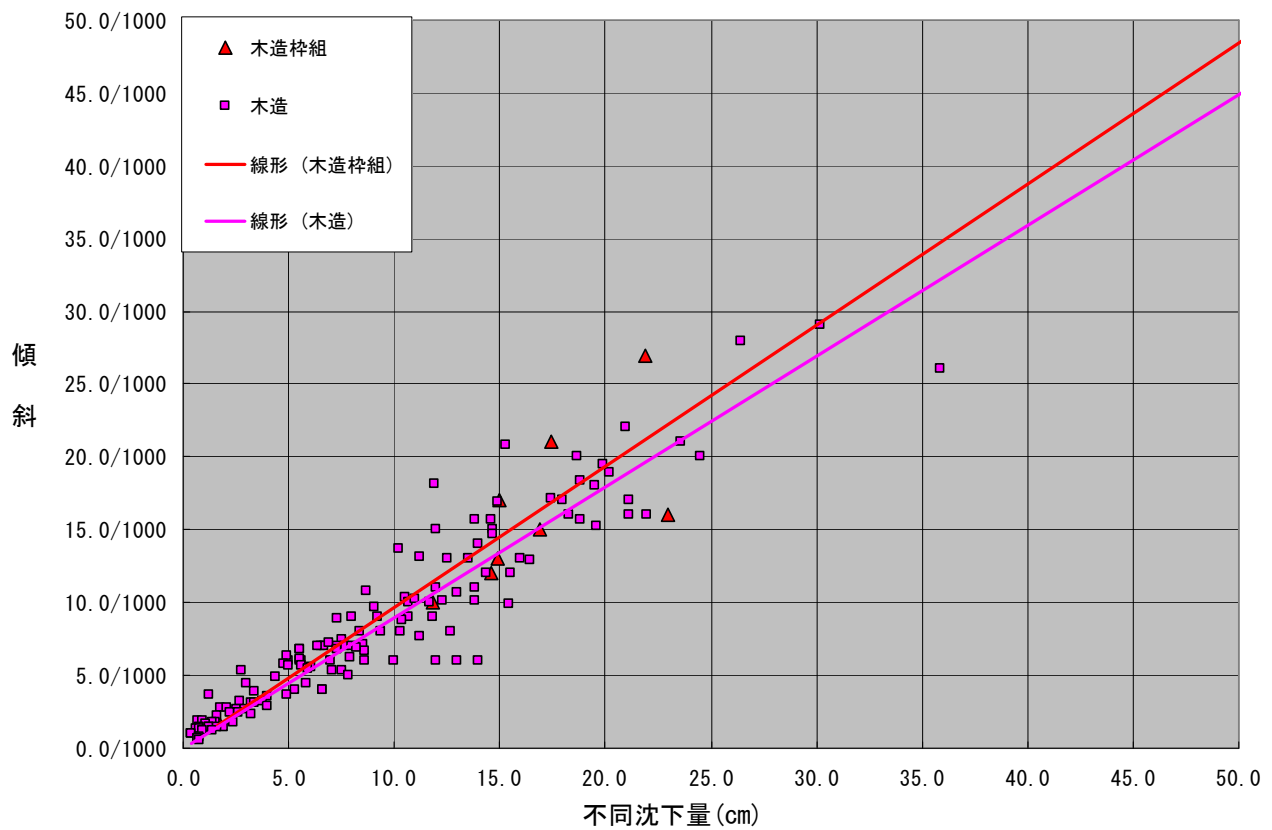


(a) 不同沈下量 50cm 以下の場合

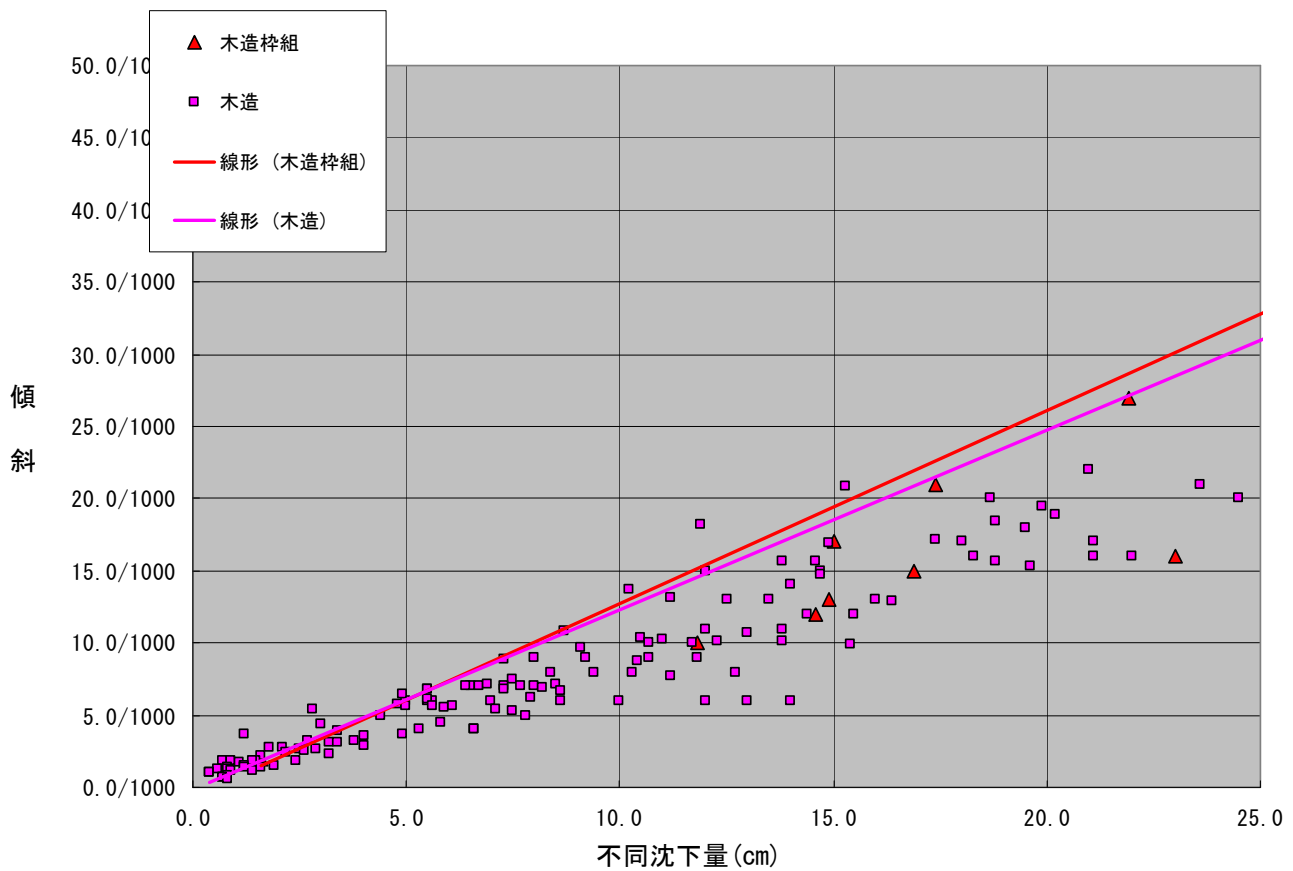


(b) 不同沈下量 25cm 以下の場合

図-10 関東における建物基礎構造別の傾斜と不同沈下量の関係

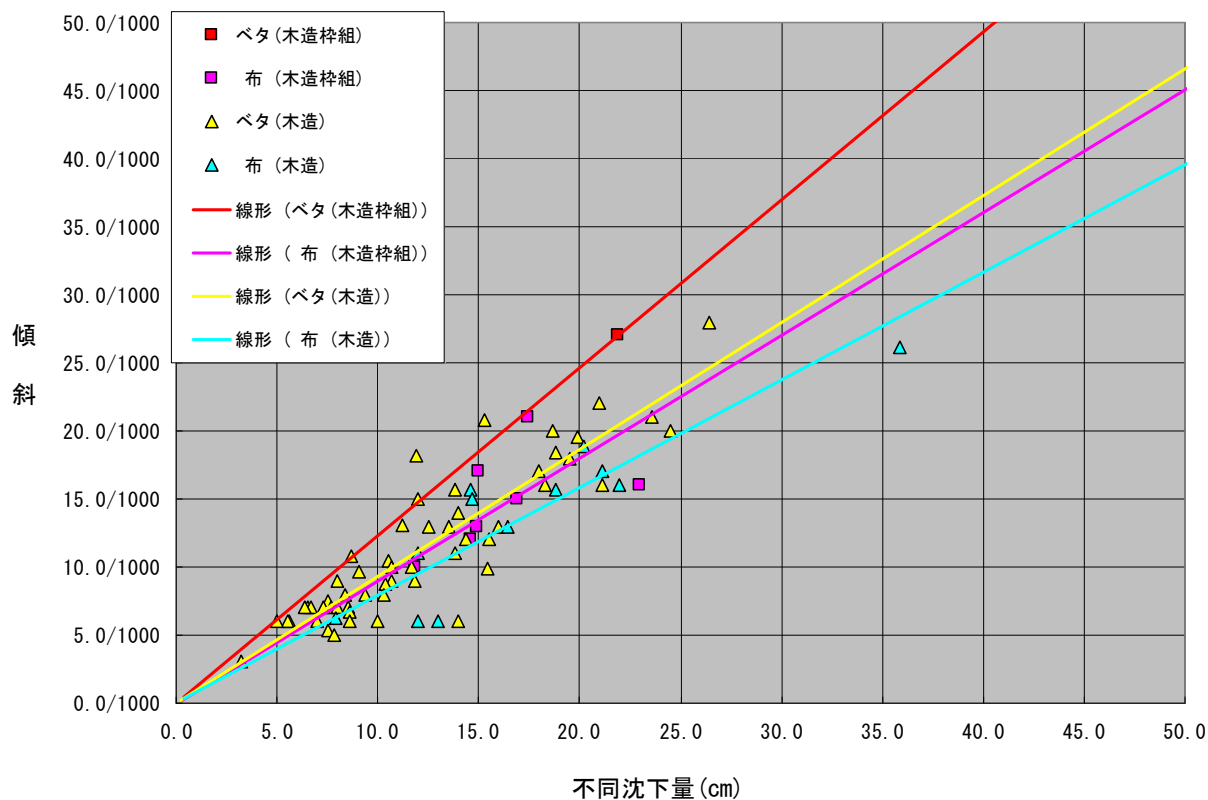


(a) 不同沈下量 50cm 以下の場合

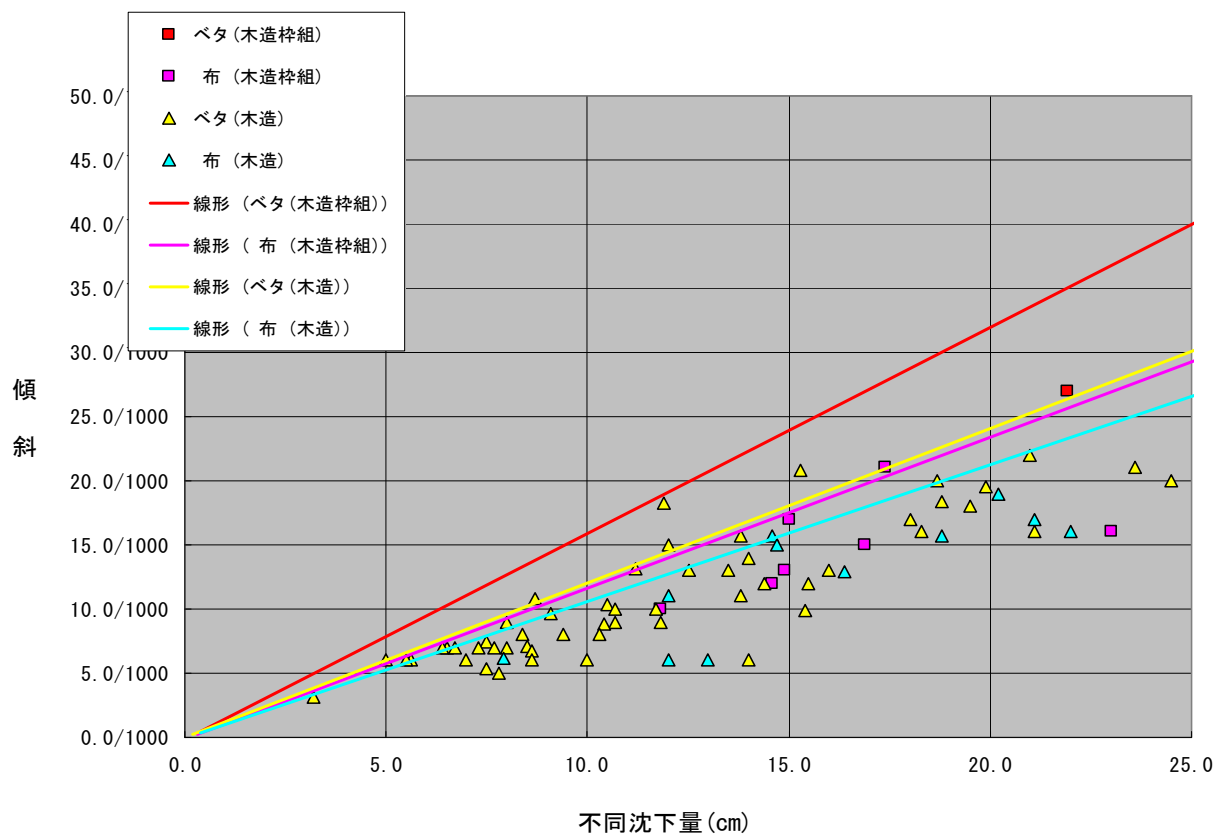


(b) 不同沈下量 25cm 以下の場合

図-11 関東における建物構造別の傾斜と不同沈下量の関係



(a) 不同沈下量 50cm 以下の場合



(b) 不同沈下量 25cm 以下の場合

図-12 浦安市における建物基礎構造別の傾斜と不同沈下量の関係

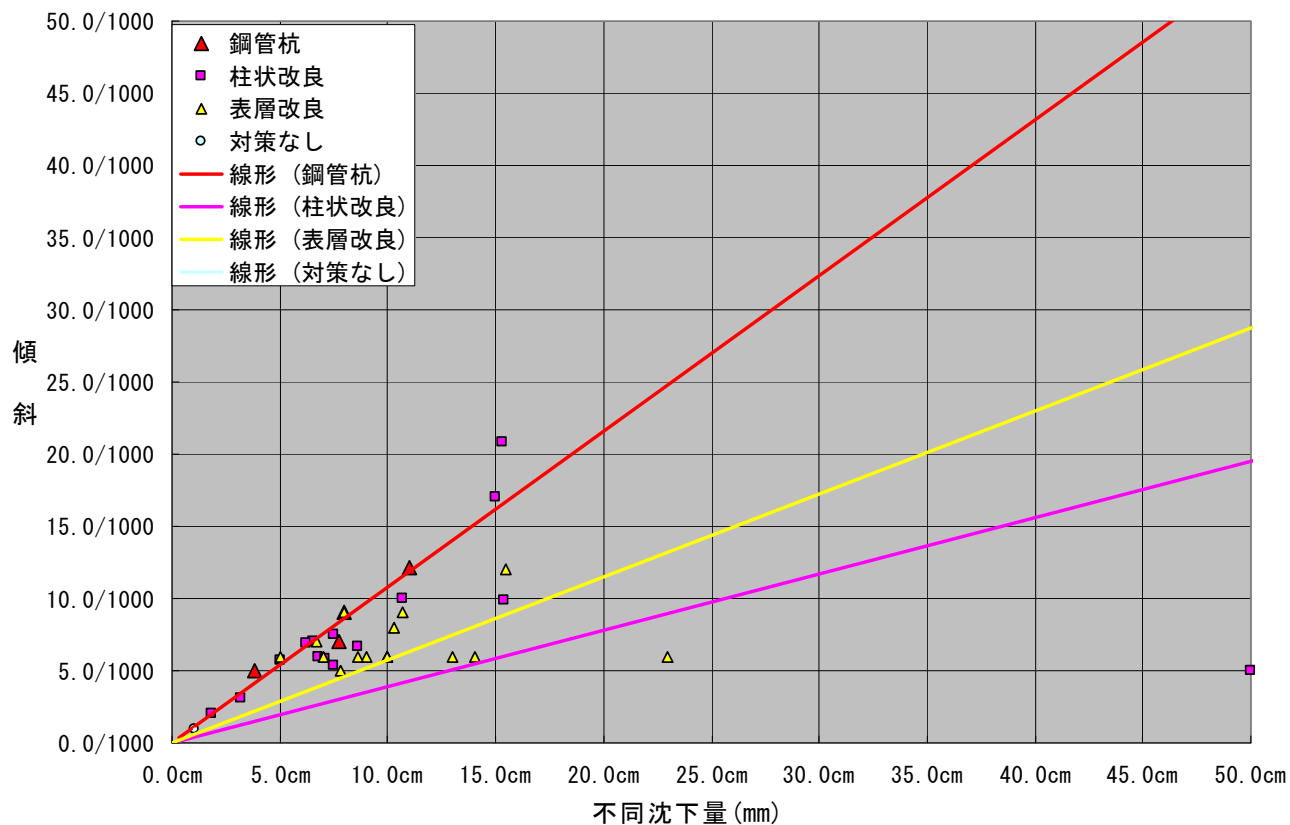


図-13 全国における地盤対策工法別の傾斜と不同沈下量の関係

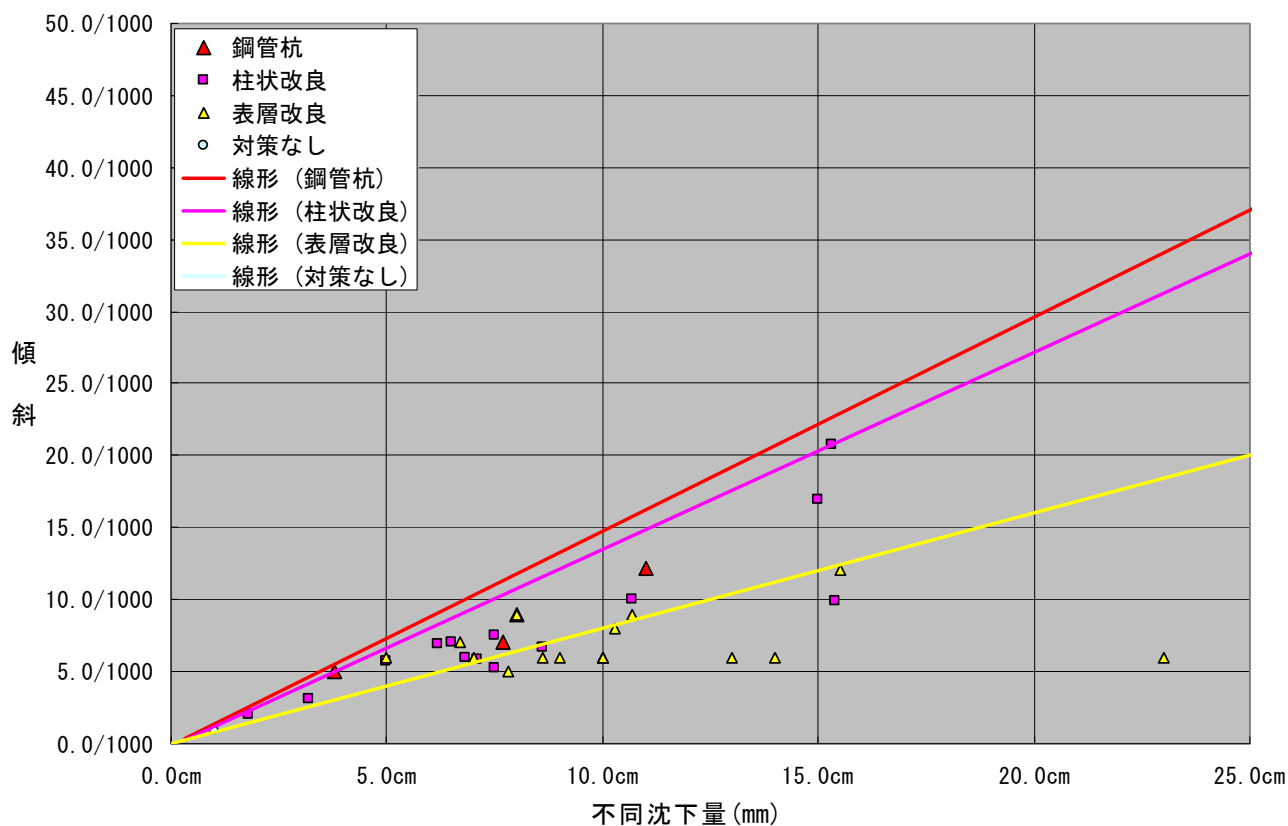


図-14 関東における地盤対策工法別の傾斜と不同沈下量の関係

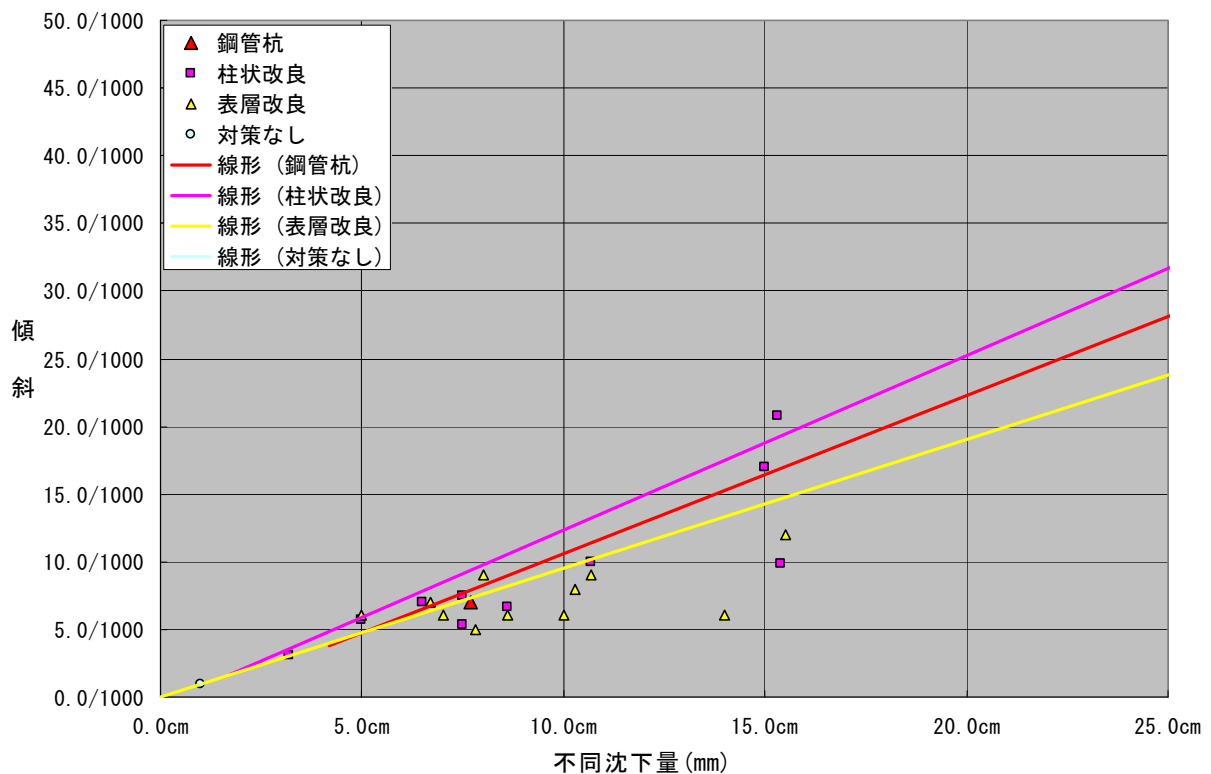


図-15 浦安市における地盤対策工法別の傾斜と不同沈下量の関係

4. まとめ

a) 地盤対策工法の傾斜と沈下量の関係

柱状改良工法や鋼管杭工法が支持層にまで達していない場合は、表層改良工法の方が液状化が発生した際に建物の傾斜角および不同沈下量が小さく、高い軽減効果があることが明らかとなった。

b) 沈下修復工法と建物の傾斜と沈下量の関係

各沈下修復工法の傾斜角・不同沈下量・費用の目安は、以下ようになった。

i) 傾斜角の目安

- ①土台揚げ工法：1/100 以下
- ②耐圧版工法：1/60 以下
- ③鋼管圧入工法：すべて
- ④薬液注入工法：1/60 以下
- ⑤硬質ウレタン工法：不明（傾斜のデータなし、沈下のみ）

ii) 不同沈下量の目安

- ①土台揚げ工法：20 cm 以下
- ②耐圧版工法：30 cm 以下
- ③鋼管圧入：すべて
- ④薬液注入：20 cm 以下
- ⑤硬質ウレタン：10 cm 以下

iii) 費用の目安

- ①土台揚げ工法：250 万以下
- ②耐圧版工法：750 万以下

③鋼管圧入：750 万～1,000 万

④薬液注入：500 万以下

⑤硬質ウレタン：250 万以下

c) 建物構造別の傾斜と沈下量の関係

全国および関東を対象にした調査の結果、建物構造別の傾斜に対して不同沈下量は、下記のような傾向になっていることが明らかとなった。

①木造枠組み＞鉄骨造＞木造

②べた基礎木造枠組み＞布基礎木造枠組み＞べた基礎木造＞布基礎木造

d) 地盤対策工法別の傾斜と不同沈下量の関係

建物の傾斜に対して不同沈下量は、下記のような傾向になっていることが明らかとなった。ただし、鋼管杭や柱状改良の不同沈下量が大きいの、対策の目的が液状化対策でなく支持力対策であるために深い支持層に達していないためである。

①全国：鋼管杭＞表層改良＞柱状改良

②関東：鋼管杭＞柱状改良＞表層改良

③浦安市：柱状改良＞鋼管杭＞表層改良

謝辞：本研究は、横浜国立大学大学院谷和夫教授を委員長とした地盤工学会「浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会」から依頼し、住宅地盤品質協会に依頼して「液状化被害に伴う沈下修正住宅の傾斜被害程度調

査のお願い」 としてアンケート調査を行ったものである。アンケート調査は、社団法人日本曳家協会の会員会社 51 社と NPO 法人住宅地盤品質協会の会員会社 503 社に対して行い、水平修復工事を実施した戸建て住宅の情報を提供していただきました。関係各位様に、この場を借りて厚く御礼を申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 橋本隆雄：東日本大震災による関東地方液状化被害地域における建物基礎地盤対策の効果の分析,第 9 回地盤工学会関東支部発表会,2012.10.

(2012.9.21 受付)

Analysis of the effects of liquefaction countermeasure construction of housing by The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

Takao HASHIMOTO・Katsuya MATSUSHITA

In The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, large-scale liquefaction damage occurred in the Kanto region in the landfill in Chiba Prefecture and southern Ibaraki Prefecture. Specifically, about 27,000 residential damage occurred such as slope, land subsidence.

As a result of its analysis, ground improvement method of the surface layer was revealed that it is cheaper construction cost, highly effective anti-liquefaction from the results of the analysis as compared to that of other.