

委員会主催シンポジウム No. 145

# 第9回環境地盤工学シンポジウム

## 発表論文集

平成23年10月

### 公益社団法人**地盤工学会**

地盤環境プロジェクトにおける環境影響評価技術の高度化と  
適用に関する研究委員会

地球温暖化が地盤環境に及ぼす影響と対策に関する研究委員会

地盤環境企画委員会

21世紀の新しい地盤環境問題の解決方策に関する研究委員会

京都大学大学院地球環境学堂

# 軟弱地盤における間伐材を利用した筏基礎と列杭による盛土基礎工法の現場試験

○林重徳<sup>1</sup>・原裕<sup>1</sup>・松尾保成<sup>1</sup>・牛原裕司<sup>1</sup>・末次大輔<sup>2</sup>・内布竜矢<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>日本建設技術株式会社・<sup>2</sup>佐賀大学低平地沿岸海域研究センター

## 1. はじめに

佐賀県の有明海沿岸地域に位置する佐賀平野では、鋭敏かつ超軟弱な有明粘土が厚く堆積した軟弱地盤が広く分布しており、現在、盛土基礎等における軟弱地盤対策工としては、石灰やセメントを用いた混合固化による地盤改良が主流である。しかし、最近の研究においては、混合固化処理土は海水に含まれる塩分と接触することで泥寧化し、さらに泥寧化した地盤においては、地盤上に設置された構造物の荷重により、圧密現象が生じることが報告されており、軟弱地盤対策工として耐久性が課題である<sup>1)</sup>。

一方では、地球温暖化現象が深刻な問題となっており、京都議定書の第一約束期間における森林吸収目標の達成に向け、「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法（間伐等促進法）」（平成20年5月16日施行）が施行されるなど、森林整備を促進する動きがある。また、佐賀県は人工林率が67%と全国で最も高い県であり<sup>2)</sup>、間伐された木材は活用方法が確立されておらず、その多くは山中に切り捨てられているのが現状であり、土砂災害時に被害拡大の原因となることが危惧される。このような現状において、将来的に持続可能な森林整備を行うために、間伐材の利用拡大などの出口戦略が求められている。

このような背景のなか、間伐材を活用した軟弱地盤の補強技術として、著者ら<sup>3)</sup>が開発しているのが「ラフト&パイル工法」である。ラフト&パイル工法は、図-1に示すように、軟弱地盤上で間伐材を敷き並べて筏を組み、その周囲に列杭を打ち込むもので、盛土等構造物の安定性を保持して不同沈下を軽減し、盛土の沈下に伴う軟弱地盤の側方変形を抑制する工法である。

本稿では、平成22年10月から実施している現場試験の結果を基に、当工法の施工方法や盛土荷重による地盤の変形特性について述べる。

また、現場試験では、ラフトは長さ4mの杉間伐材を用いており、締付材を用いて一体化を図り板状構造体とした<sup>4)</sup>。さらに、パイルの杭頭はタイロッドで固定し、側方変形の抑制を図った。盛土荷重により、これらの部材に生じる応力について、計測結果に基づいて所見を述べる。

## 2. 現場試験区の地質と地盤

現場試験は、佐賀市川副町の有明海沿岸に位置する佐賀空港南側敷地内において実施した。

現場試験を施工するに当たり、試験区において調査ボーリングを実施した。ボーリング結果を基に作成した地質想定断面図を図-2に示す。図のように、試験区の地質は粘性土と砂質土が互層状態で堆積した地盤である。

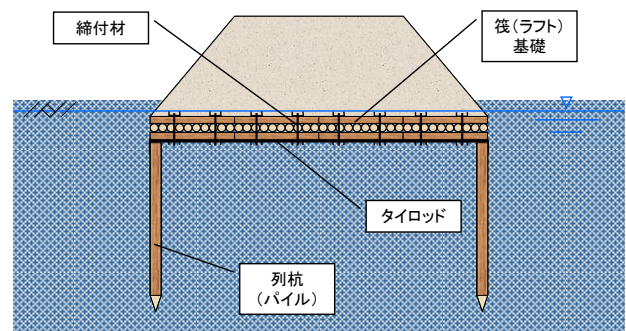


図-1 ラフト&パイル工法の概要図

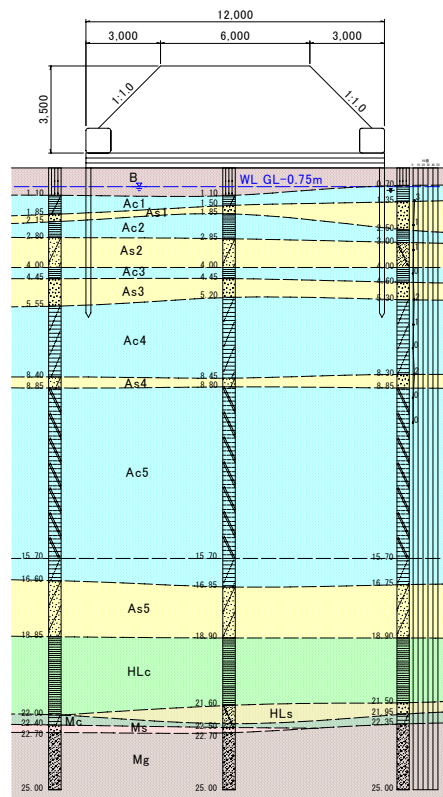


図-2 現場試験区における地質想定断面図

### 凡例

地層記号	記事
B1	粘性土主体の盛土。φ以下の礎を少量混入。0.60m~0.70m付近に産業廃棄物を混入する。
Ac1	旧表土層で上部40cm程度は酸化し褐色を帯びる。下部は細粒砂の混入有。
As1	細粒砂主体。粘性土の混入は非常に少ない。
Ac2	粘性強く非常に軟らかく、含水やが多い。最下部は微粒砂及び貝殻細片を混入する。
As2	全体にシルトを多く含む微粒砂。全体に貝殻細片混入。
Ac3	粘性強く非常に軟らかく、含水やが多い。少量の貝殻細片及び腐植物を混入。下部は細粒砂を混入する。
As3	細粒砂主体。粘性土の混入は非常に少ない。
Ac4	粘性強く非常に軟らかく、含水やが多い。層厚10cm以下の細粒砂層をシーム状に挟む。少量の貝殻細片及び腐植物を混入。
As4	細粒砂。貝殻細片を多く混入する。中間に層厚10cm以下のシルトを挟む。
Ac5	粘性強く非常に軟らかく、含水やが多い。全体に貝殻細片を少量混入する。
As5	全体にシルトを混入した均一な微粒砂。少量の貝殻細片を混入する。
HLC	含水やや低く軟らかい。層厚1cm以下の細粒砂層をシーム状に挟む。貝殻細片の混入は認められない。
HLS	上部は全体にシルトを混入した細粒砂。
MC	含水低く粘性弱。やや黒色を呈したシルト。下部は細粒砂の混入有。
MS	細粒砂主体。20mm程度の垂直層を少量混入する。
MG	φ40mm以下の垂円~円礫を多く混入する。マトリクスは粒度不均一な砂で細粒土の混入は非常に少ない。

Field Test of Foundation Method by Raft Foundation and Line Pile with Thinnings on Soft Ground

Yuji Ushihara<sup>1</sup>, Yutaka Hara<sup>1</sup>, Shigenori Hayashi<sup>1</sup>, Yasunari Matsuo<sup>1</sup>, Daisuke Suetsugu<sup>2</sup>, Tatsuya Uchinuno<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Nihon Kensetsu Gijutsu Co. LTD, <sup>2</sup>Saga University) **KEY WORDS:** Environment, Soft ground, Thinnings, Settlement, Raft, Pile

### 3. 現場試験の施工

#### 1) 現場試験の概要

現場試験の概略構造図を図-3 に、平面図を図-4 に示す。図に示すように、施工規模は 12m 四方とし、試験区周囲にあたる盛土法尻部において、長さ 6m の木杭を列状に打込みパイルとした。また、盛土荷重による地盤の側方変形を抑制するため、杭頭をタイロッドで繋ぐことでパイルを拘束した。また、盛土荷重が上載する地盤上において、長さ 4m の木材を敷き並べラフトとした。ラフトは盛土と地盤との間に生じる曲げ応力に抵抗するため、図-6 に示すように、溝型鋼と寸切りボルトを用いて締付けることで一体化を図り、板状構造体とした。

また、地盤内部に分布する粘土層において、間隙水圧計および層別沈下計を設置することで、地盤の圧密沈下を計測するとともに、ラフト上面に沈下板を設置することでラフトの沈下およびたわみを計測する。

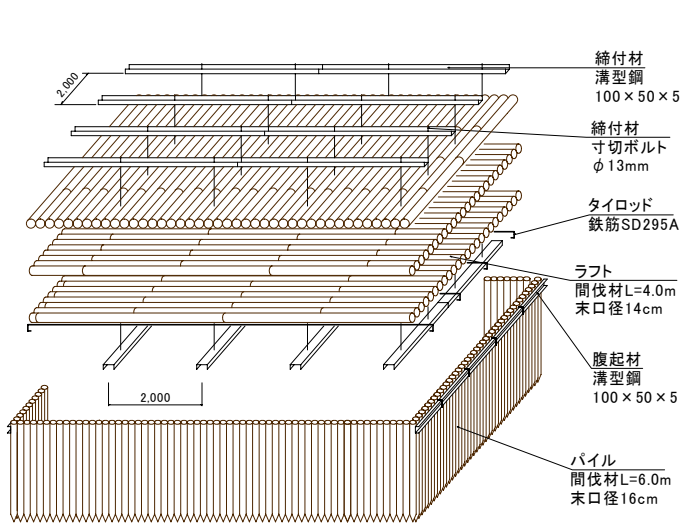


図-3 ラフト&パイルの概略構造図

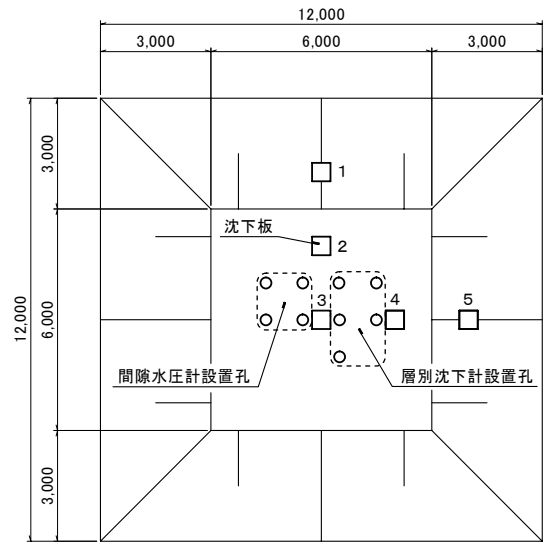


図-4 計測機器の設置箇所平面図

#### 2) 施工状況

現地実証試験の施工は、以下の手順で実施した。

- ① 整地・仮設工
- ② パイル工

##### A) 木杭 L=6m の打込み

木杭の打込みは、写真-1a に示すように、配管使用のバックホウ (0.7m<sup>3</sup>) に専用アタッチメントを取り付けて実施した。

##### B) 腹起材・タイロッドの設置

杭頭の外側に溝型鋼 (100×50×5mm) を設置し、写真-1b に示すように、タイロッドとして異形鉄筋 SD295A を溶接した。

#### ③ ラフト工

##### A) 締付材の設置

写真-1b に示すように、溝型鋼 (100×50×5mm) に寸切りボルトを取り付けたものを、一定の間隔で設置した。

##### B) 間伐材 L=4m の設置

写真-1c に示すように、木材の継手が同断面に集中しないよう、間伐材を配置した。



a. 木杭打込状況



b. タイロッドおよび締付材設置状況



c. ラフト設置状況



d. 締付材設置状況

写真-1 現場試験施工状況

C) 締付材の設置および締付け

写真-1d に示すように、ガスを用いて孔を開けた溝型鋼(100×50×5mm)に、寸切りボルトを通しナットで固定した。

④ 盛土工

バックホウ(0.7m<sup>3</sup>)およびハンドガイド式の振動ローラを用いて転圧を行い、盛土高さ3.5mまで盛り立てた。

4. 追跡調査結果

1) 間隙水圧

表-1に、試験区に分布する粘土層およびシルト層の土質定数を、図-5に各粘土層における過剰間隙水圧の経時変化を示す。盛土荷重による過剰間隙水圧の発生を確認した層はAc2、Ac4、Ac5の粘土層およびシルト層である。Ac2では、過剰間隙水圧が生じるが層厚が1.00m程で、上下を砂層に挟まれており、過剰間隙水圧は3日程で消散した。Ac4では、粘土層の層厚が3.25mで、Ac2と比べて排水距離が長いことから、過剰間隙水圧はやや緩やかに消散した。Ac5は層厚が8.05mと比較的厚く分布していることから、発生した過剰間隙水圧は、Ac2とAc4と比べて緩やかに10日程で消散した。HLcにおける過剰間隙水圧は、多少増減は見られるものの、周期的であることから、潮汐の影響によるものと考えられる。上記の結果から、圧密現象が生じたのは、Ac1～Ac5の粘土およびシルト層であり、いずれの地層も、盛土の施工開始から2週間ほどで過剰間隙水圧が消散していることを確認した。

2) 沈下量

図-6にラフト上面に設置した沈下板の沈下量を示す。盛土の施工開始から即時沈下が生じており、間隙水圧が消散した後もクリープ現象が生じていた。図-7に、沈下に伴うラフトの形状変化を示す。試験区の中央部に当たるNo.3の沈下量が29.3cmで最も沈下しており、ラフトにたわみが生じていることを確認した。

図-8に各粘土層における沈下量の測定結果を示す。前節の間隙水圧の結果と同様、盛土荷重による沈下を確認した層はAc2～Ac5の粘土およびシルト層であった。沈下量としては、盛土施工開始から143日後の段階で、Ac2およびAc3のシルト層において沈下量が5.9cm、Ac4が3.8cm、Ac5が3.3cm、HLcが1.0cmであった。

表-1 粘土層およびシルト層の土質定数

土質定数		粘土層			
		Ac2	Ac4	Ac5	HLc
地盤材料の分類名		砂質粘土 (高液性限界)	砂混じり粘土 (高液性限界)	砂質シルト (高液性限界)	砂質シルト (高液性限界)
粒 度	砂分(0.075-2mm) (%)	38.00	7.30	19.30	19.90
	シルト分(0.005-0.075mm) (%)	33.40	43.00	38.50	39.80
	粘土分(0.005mm未満) (%)	28.60	49.70	42.20	40.30
湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.57	1.44	1.44	1.58
塑性指数 $I_p$		44.50	60.60	39.80	35.70
間隙比 $e$		1.91	2.68	2.64	1.87
粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )		18.34	19.51	26.42	34.25
圧密降伏応力 $p_c$ (kN/m <sup>2</sup> )		38.35	54.46	74.44	123.72
圧縮指数 $C_c$		0.73	1.67	1.29	0.95

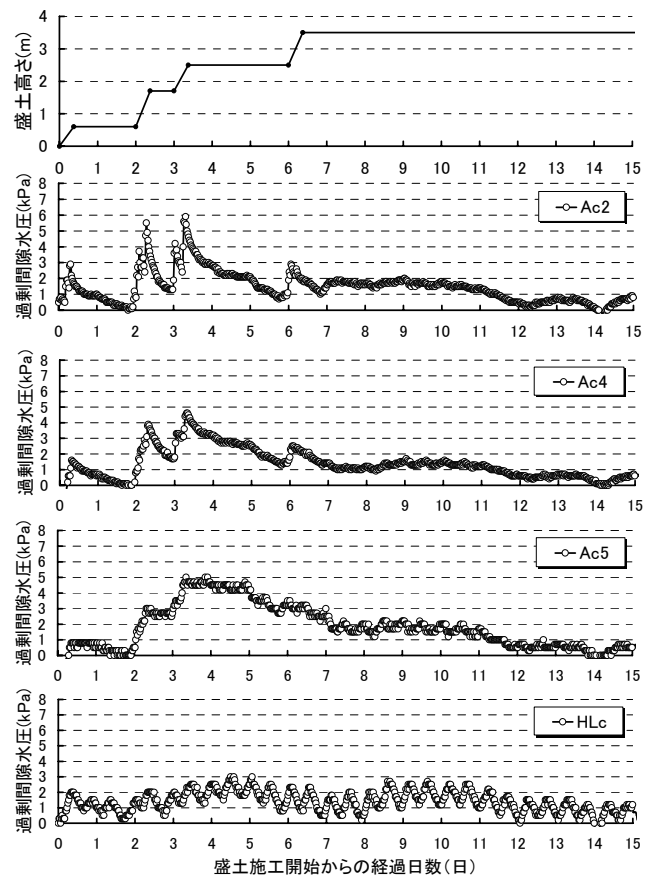


図-5 粘土層における間隙水圧の経時変化

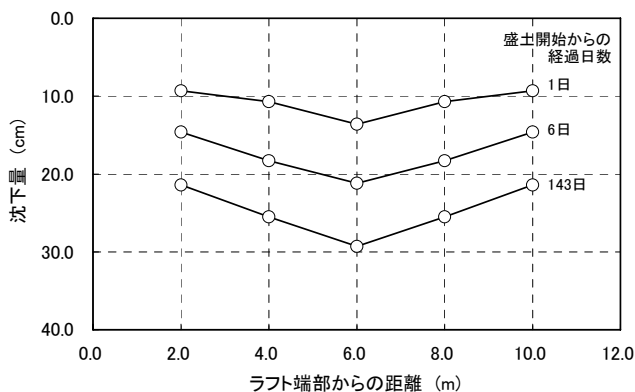


図-7 沈下に伴うラフトの形状変化

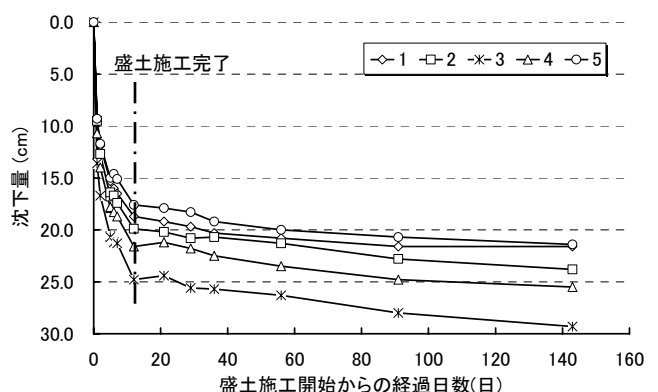


図-6 ラフト上面における沈下量の経時変化

### 3) 側方変形

図-9 に、挿入型傾斜計を用いて測定した、地中の水平変位の測定結果を示す。結果から、砂層に比べて粘土およびシルトで形成された地層における側方変形が優勢であり、パイル先端部である深度 6m 付近が最も変動することを確認した。また、表土付近は側方に変動していないことから、タイロッドの拘束により、杭頭付近における地盤の水平変形が抑制されていることが推察できる。

### 4) タイロッドおよび締付材に生じる軸応力

図-10 にタイロッドに生じた軸応力を示す。グラフのプラスの値は引張応力を表しており、盛土荷重によりタイロッドに引張応力が生じていることを確認した。前節の地中の水平変位の結果と併せて、タイロッドによりパイル杭頭の側方変形が抑制されていることが確認できた。

図-11 にラフトの締付材に生じた軸応力を示す。タイロッドと同様、引張応力が生じていることが確認できる。前節のラフトの沈下を見ても、盛土荷重によりラフトにたわみが生じていることから、ラフトのたわみ変形に伴い締付材に引張応力が生じたことが推察できる。

### 5. おわりに

木材を用いる本工法は、地下水位以下で用いることで耐久性に優れた工法である。また、間伐材の利用拡大となることから、森林整備事業に貢献でき、さらには森林の CO<sub>2</sub> 吸収量が増加することから温暖化の緩和策として有効な工法である。

今回の現場試験により、ラフト&パイル工法における、盛土荷重による沈下や地中の側方変形などの地盤の変形特性を確認することができた。また、タイロッドがパイル杭頭の側方変形に対する抑制効果を有していることや、締付材がラフトのたわみ変形に対する抑制効果を有していることを確認することができた。これらの現地で得られたデータは、今後、数値解析結果と比較・検証し、設計手法の確立のための基礎データとして活用していく所存である。

**謝辞**：本論文で報告する現地実証試験は、佐賀県が実施している「平成 22 年度さが中小企業応援基金事業」の一環で執り行ったものである。財団法人佐賀県地域産業支援センターの方々には、記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 原弘行・林重徳・末次大輔・水城正博：海水環境下における石灰処理土の性状変化に関する基礎的検討，土木学会論文集 C, Vol.66, No.1, pp.21-33, 2010.1
- 2) 佐賀県：佐賀県森林・林業統計要覧，pp.2-21, 2009.12.
- 3) 末次大輔・林重徳・原弘行：筏基礎と列杭による河川堤防の側帯盛土基礎の現場実験，木材利用研究論文集, Vol.9, pp11-70, 2010.8.
- 4) 末次大輔・林重徳：間伐材を利用した盛土基礎に関する模型実験，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集，pp.357-358, 2009. 9.

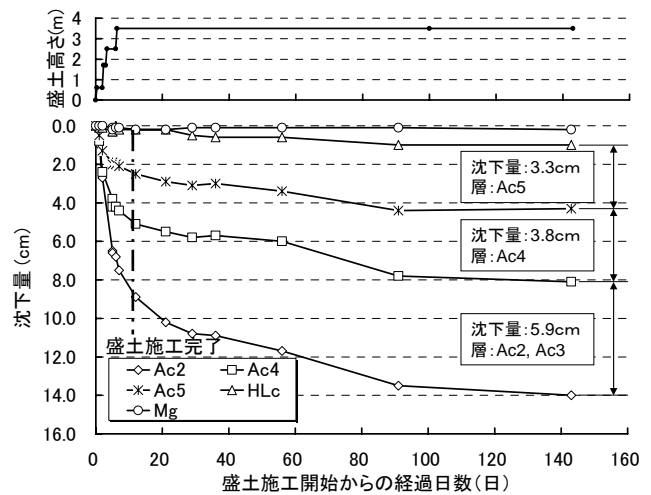


図-8 各粘土層における沈下量の経時変化

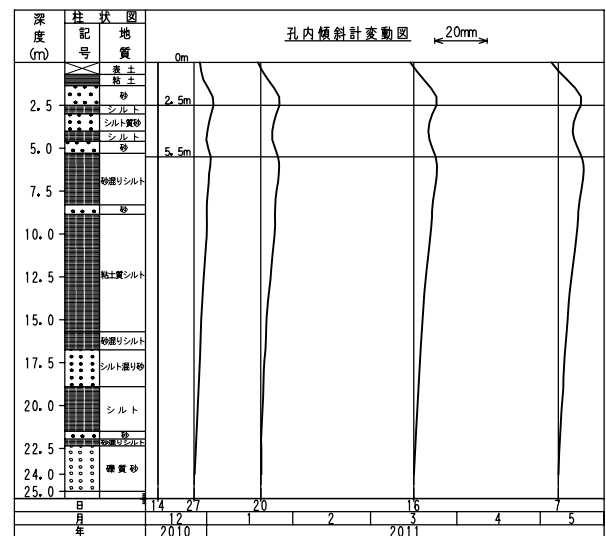


図-9 孔内傾斜計変動図

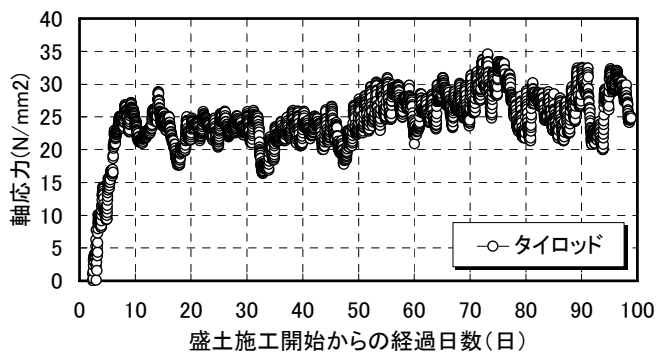


図-10 タイロッドに生じる軸応力

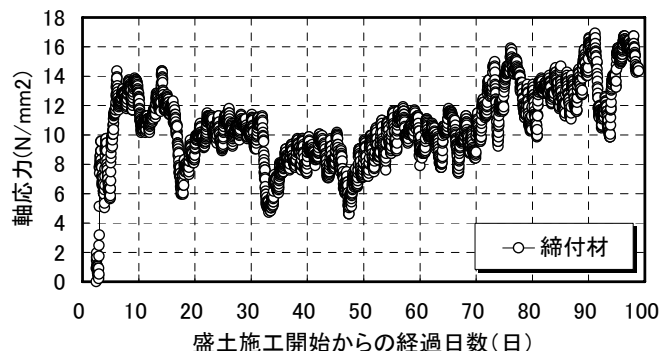


図-11 締付材に生じる軸応力