

道路の災害時等における応急仮工事等での CLT 利用調査
報告書

2025 年 2 月

ソイルウッド

序

軟弱地盤上の道路盛土などの仮工事を CLT で補強して行うことは、CLT が軽量で面的な材料であることから、緊急性を要する災害時の応急仮工事として適用することなどが考えられるが、このような事例は世界的にも見られず、僅かな実験事例や調査が行われているに過ぎない。

そこで、CLT を軟弱地盤上の仮設道路に敷設することを想定し、まず初めに、類似目的の既存工法、関連法規を調査し、次に、CLT を利用しようとする背景、CLT を利用した仮設道路のメリット・デメリットを明らかにし、最後に、実証試験の一つとして行った CLT 水平地盤補強実験の成果をまとめ、実用化に向けた課題点等を明らかにし、CLT 仮設道路等の今後の見通しを明らかにする。

一般社団法人 日本 CLT 協会
2025 年 2 月

もくじ

ページ

1. 業務概要	1
1.1. 業務名	1
1.2. 業務の目的	1
1.3. 事業実施主体および担当者	1
1.4. 事業期間	1
2. 軟弱地盤上の仮設道路の一般論	2
2.1. 軟弱地盤対策	2
2.1.1. 軟弱地盤とは	2
2.1.2. 軟弱地盤対策の目的	2
2.1.3. 軟弱地盤対策に求められる主なこと	2
2.2. 仮設工事の位置づけ	3
2.3. 仮設工事と木材に関する関連法規	4
2.3.1. 調査概要	4
2.3.2. 関東地方整備局 土木工事共通仕様書 2024.....	4
2.3.3. 農林水産省農村振興局整備部設計課 土木工事共通仕様書, 2024.....	6
2.3.4. 林野庁 治山工事標準, 2015.....	7
2.3.5. 東日本高速道路 土木工事共通仕様書, 2022.....	8
2.3.6. 仮設工事と木材に関する関連法規のまとめ.....	8
2.4. 軟弱地盤上に CLT を用いた地盤補強を行う場合の設計	10
2.5. 既存の軟弱地盤上の仮設道路の軟弱地盤対策工法.....	12
2.5.1. 敷板工法	12
2.5.2. サンドマット工法	14
2.5.3. シート・ネット(ジオテキスタイル)工法.....	15
2.5.4. 表層混合処理工法	16
3. 想定される軟弱地盤上の仮設道路の軟弱地盤対策への CLT 水平補強による適用.....	17
3.1. CLT を利用する背景と意義	17
3.2. 仮設道路の軟弱地盤対策に CLT 地盤補強を適用するメリットとデメリット.....	18
3.2.1. 軟弱地盤対策に CLT 地盤補強を適用するメリットとデメリット.....	18
3.2.2. CLT 水平地盤補強を仮設道路に適用する場合のメリット・デメリット.....	19
3.3. 軟弱地盤上の仮設道路で CLT 水平補強を想定した円弧すべり安定計算法による設計.....	21
3.3.1. 設計の考え方	21
3.3.2. 安定計算設計例	25
3.3.3. 円弧すべり安定計算による設計の課題.....	29
3.4. 軟弱地盤上の仮設道路で CLT 水平補強を想定した圧密沈下に対する考え方.....	30
3.5. 軟弱地盤上の仮設道路で CLT 水平補強を想定した CLT の劣化に対する考え方.....	30
3.6. CLT 水平地盤補強の適用範囲	31
3.6.1. 地盤条件	31

3.6.2.	CLT の仕様	31
3.6.3.	施工条件	31
3.7.	想定される適用例	32
3.7.1.	盛土厚が小さい仮設道路等への適用	32
3.7.2.	歩道や道路などの凍上対策	32
3.7.3.	敷き鉄板の代用	32
4.	軟弱地盤上の盛土の CLT 水平補強による軟弱地盤対策実証実験結果	33
4.1.	実験概要	33
4.2.	実験方法	35
4.2.1.	実験場所	35
4.2.2.	実験ケース	35
4.2.3.	実験手順	36
4.2.4.	使用した CLT	40
4.2.5.	動態観測	40
4.2.6.	大型載荷試験	40
4.2.7.	CLT 掘り出しによる健全性調査	42
4.2.8.	調査項目	42
4.2.9.	温湿度観測	42
4.2.10.	地下水位観測	42
4.3.	実験地点の環境	44
4.3.1.	地盤概要	44
4.3.2.	地下水位と日降雨量	45
4.4.	動態観測結果	47
4.5.	大型載荷試験結果	49
4.6.	1.8 年経過後の CLT の健全性評価結果	50
4.6.1.	目視観察による劣化度調査	50
4.6.2.	亀裂の発生	50
4.6.3.	曲げヤング係数と曲げ強さ	53
4.7.	施工性	54
4.8.	コスト比較	56
4.9.	まとめ	57
5.	実用化に向けた課題と仮設道路等への適用の今後の見通し	58
5.1.	CLT 水平地盤補強の課題	58
5.2.	仮設道路などへの CLT 水平地盤補強の適用の今後の見通し	58

1. 業務概要

1.1. 業務名

道路の災害時等における応急仮工事等での CLT 利用調査

1.2. 業務の目的

CLT は災害時等の際に道路を復旧させる一つの手段として考えられるが、CLT を仮設道路とするための仕様・施工方法や関連法規等が明らかになっていない。仮設道路敷設の既存方法や関連法規とその背景等を調査し、CLT を利用した仮設道路のメリット・デメリットを明らかにすることで、新たな CLT の土木利用への可能性を提示する。同時に実証試験の一つとして行った水平地盤補強実験等の成果をまとめ、実用化に向けた課題点等を明らかにし、CLT 仮設道路等の今後の見通しを明らかにする。

1.3. 事業実施主体および担当者

ソイルウッド 沼田淳紀

1.4. 事業期間

2024 年 8 月 16 日～2025 年 2 月 20 日

2. 軟弱地盤上の仮設道路の一般論

2.1. 軟弱地盤対策

2.1.1. 軟弱地盤とは

道路土工 軟弱地盤対策工指針（2012（平成 24）年度版，日本道路協会，p.4）には，以下のように定義されている。

軟弱地盤：土工構造物の基礎地盤として十分な支持力を有しない地盤で，その上に盛土等の土工構造物を構築すると，すべり破壊，土構造物の沈下，周辺地盤の変形，あるいは地震時に液状化が生じる可能性のある地盤。

2.1.2. 軟弱地盤対策の目的

軟弱地盤に仮設道路を含め構造物を構築する際には，多くの場合，地盤の安定性を確保するために，軟弱地盤対策が必要になる。この目的として，以下が挙げられる¹⁾。

- (1) せん断特性の改善（せん断変形抑制，強度低下抑制，強度増加促進，荷重低減など）
- (2) 圧縮性の改善（圧密沈下促進，圧密沈下量低減など）
- (3) 透水性の改善（不透水化，遮水，水圧低減など）
- (4) 動的特性の改善（液状化防止，振動低減など）

特に，仮設道路を想定した時には，上記(1)の目的で対策が行われる。

2.1.3. 軟弱地盤対策に求められる主なこと

軟弱地盤対策を実施にあたり，主に以下が求められる²⁾。

- (1) 改良効果が早期に発揮されること
- (2) 施工が短期間で終了すること
- (3) 安価であること
- (4) 使用材料の入手が容易であること
- (5) 小型機械や一般的な機械で施工が可能であること
- (6) 周辺地盤や既存構造物への影響が少ないこと
- (7) 施工中の騒音・振動が少ないこと

仮設道路を想定した場合，上記の(1)～(5)が特に重要だと考えられる。

2.2. 仮設工事の位置づけ

図-1に、建設工事における仮設工事の位置づけを示す。建設工事は、受け取り対象物となる「本体構造物」と、受け取り対象外で設置期間が限定され一般的には撤去される「仮設構造物」に分けることができる。さらに仮設構造物は、発注者側が仮設の構造、寸法、工法等の必要事項を明示する「指定仮設」と、受注者の責任と裁量で施工でき、設計図書は示されず、本体工事のやりやすいように自由に設計施工できる「任意仮設」に分けられる。一般に仮設とは、任意仮設を指していることが多い。仮設構造物の施工は、受注者の責任となるが、設計書が示されその方法が指定されているわけではないので、その良否で工事費用、工事期間に大きな差が生じるので、受注者の腕の見せ所と言える。なお、任意仮設は、設計変更の対象とはならないが、指定仮設は設計変更の対象となる。ただし、指定仮設であっても、施工に関する責任は、受注者にある³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

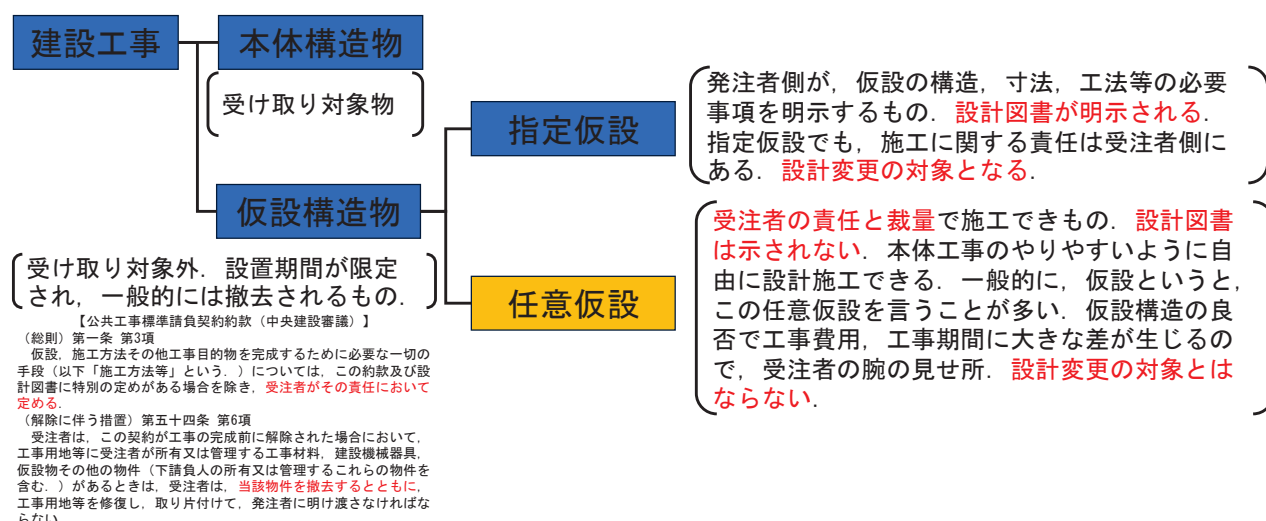


図-1 建設工事における仮設工事の位置づけ

2.3. 仮設工事と木材に関する関連法規

2.3.1. 調査概要

各機関で示されている共通仕様などから、仮設工と木材に関連する記述を拾い出した。

調査で対象とした共通仕様書類は以下である。

- (1) 関東地方整備局 土木工事共通仕様書 2024.
- (2) 農林水産省農村振興局整備部設計課 土木工事共通仕様書, 2024.
- (3) 林野庁 治山工事標準, 2015.
- (4) 東日本高速道路 土木工事共通仕様書, 2022.

2.3.2. 関東地方整備局 土木工事共通仕様書 2024

第1編 共通編, 第1章 総則

1-1-1-2 用語の定義

48. 仮設工事とは、各種の仮工事であって、工事の施工及び完成に必要とされるものをいう。

1-1-1-33 環境対策

1. 環境保全：受注者は、建設工事に伴う騒音振動対策技術指針（建設大臣官房技術参事官通達，昭和 62 年 3 月 30 日改正），関連法令並びに仕様書の規定を遵守の上，騒音，振動，大気汚染，水質汚濁等の問題については，施工計画及び工事の実施の各段階において十分に検討し，周辺地域の環境保全に努めなければならない。（気候変動対策的な記述はない）
9. 特定調達品目：受注者は，資材（材料及び機材を含む），工法，建設機械または目的物の使用にあたっては，環境物品等（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（令和 3 年 5 月改正 法律第 36 号．「グリーン購入法」という．）第 2 条に規定する環境物品等をいう．）の使用を積極的に推進するものとする。
 - (1) グリーン購入法第 6 条の規定に基づく「環境物品等の調達の推進に関する基本方針」で定める特定調達品目を使用する場合には，原則として，判断の基準を満たすものを使用するものとする．なお，事業ごとの特性，必要とされる強度や耐久性，機能の確保，コスト等の影響により，これにより難しい場合は，監督職員と協議する．また，その調達実績の集計結果を監督職員に提出するものとする．なお，集計及び提出の方法は，設計図書及び監督職員の指示による．
 - (2) グリーン購入法に基づく環境物品等の調達の推進に関する基本方針における公共工事の配慮事項に留意すること．

（本編）第1編 共通編, 第2章 土木工事材料, 第4節 木材

2-2-4-1 一般事項

1. 一般事項：工事に使用する木材は，有害な腐れ，割れ等の欠陥のないものとする．
2. 寸法表示：設計図書に示す寸法表示は，製材においては仕上がり寸法とし，素材については特に明示する場合を除き 末口寸法とするものとする．

3-2-10-1 一般事項

2. 一般事項：受注者は，仮設工については，設計図書に定めまたは監督職員の指示がある場合を除き，受注者の責任において施工しなければならない．

3. 仮設物の撤去原型復旧：受注者は、仮設物については、設計図書の定めまたは監督職員の指示がある場合を除き、工事完了後、仮設物を完全に撤去し、原形に復旧しなければならない。

3-2-10-2 工事用道路工

2. 工事用道路の計画・施工：受注者は、工事用道路の施工にあたり、予定交通量・地形・気候を的確に把握し、周囲の環境に影響のないよう対策を講じなければならない。（気候変動対策的な記述はない）
4. 工事用道路盛土の施工：受注者は、工事用道路盛土の施工にあたり、不等沈下を起さないように締固めなければならない。
5. 盛土部法面の整形：受注者は、工事用道路の盛土部法面の整形する場合は、法面の崩壊が起こらないように締固めなければならない。

3-2-10-2 工事用道路工

7. 安定シート：受注者は、安定シートを用いて、工事用道路の盛土の安定を図る場合には、安定シートと盛土が一体化して所定の効果が発揮できるよう施工しなければならない。



写真-1 安定シートによる軟弱地盤表層安定処理工

前田工織(株)ホームページより

2.3.3. 農林水産省農村振興局整備部設計課 土木工事共通仕様書, 2024.

第1編 共通編, 第1章 総則, 1-1-2 用語の定義

(3)「仮設工事」とは、工事の施工に必要な各種の仮工事をいう。

第1編 共通編, 第1章 総則

1-1-39 環境対策

1 受注者は、関連法令及び条例並びに仕様書の規定を遵守のうえ、騒音、振動、大気汚染、水質汚濁等の問題について、施工計画及び工事の実施の各段階において十分に検討し、周辺地域の環境保全に努めなければならない。（気候変動対策的な記述はない）

4 資材（材料及び機材を含む.）、工法、建設機械及び目的物

(1)受注者は、資材（材料及び機材を含む.）、工法、建設機械及び目的物の使用に当たっては、事業ごとの特性を踏まえ、必要とされる強度や耐久性、機能の確保、コスト等に留意しつつ、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（平成12年法律第100号。以下「グリーン購入法」という.）」第6条の規定に基づく「環境物品等の調達の推進に関する基本方針」に定める特定調達品目の使用を積極的に推進するものとする。

(3)受注者は、木材の使用について「合法伐採木材等の流通及び利用の促進に関する法律（平成28年法律第48号。以下「クリーンウッド法」という.）」に基づき、我が国又は原産国の法令に適合して伐採された樹木を材料とする合法性が証明された木材（以下「合法伐採木材等」という.）を使用するものとする。

第1編 共通編, 第1章 材料, 第3節 木材

2-3-1 一般事項

- 1 設計図書に示す寸法表示は、製材においては仕上がり寸法とし、素材にあつては、特に示す場合を除き末口寸法とする。
- 2 工事に使用する木材は、設計図書に示す仕様のもので、強度に影響を与える腐朽、裂目その他の欠陥のないものとする。
- 3 木杭及び丸太は、設計図書で示す場合を除き、樹皮を剥いだ生木を使用する。

第1編 共通編, 第3章 施工共通事項, 第20節 仮設工

3-20-1 一般事項

- 1 仮設工については、設計図書に示されている場合、又は監督職員の指示がある場合を除き、受注者の責任において施工しなければならない。
- 2 受注者は、仮設工として設置した仮設物を完全に撤去し、原形に復旧しなければならない。

3-20-2 仮設道路工

- 1 仮設道路とは、工事用の資機材や土砂を運搬するために仮に設置された道路のことをいうものとする。
- 2 受注者は、仮設道路の施工に当たり、予定交通量、地形を的確に把握し、周囲の環境に影響のないよう対策を講じなければならない。
- 4 受注者は、仮設道路盛土の施工に当たり、不等沈下を起さないように締固めなければならない。
- 5 受注者は、仮設道路の盛土部法面の整形を行う場合、法面の崩壊が起こらないように締固めなければならない。
- 7 受注者は、安定シートを用いて、仮設道路の盛土の安定を図る場合、安定シートと盛土が一体化して所定の効

果が発揮できるよう施工しなければならない。

2.3.4. 林野庁 治山工事標準, 2015

第1章 総則, 第1節 通則, (用語の定義)第102条

33 仮設工事とは、各種の仮工事であって、工事の施工及び完成に必要とされるものをいう。

第2 材料, 第8節 木材, (木材)第220条

- 1 工事に使用する木材は、使用目的に支障となる腐れ、割れ等の欠点のないものとする。
- 2 設計図書に示す寸法の表示は、製材においては仕上がり寸法とし、素材については特に明示する場合を除き、
末口寸法とする。
- 3 受注者は、防腐処理を施した木材を工事に使用する場合は、設計図書によるものとする。
- 4 橋梁等に使用する構造用大断面集成材は、JAS 規格品とする。
- 5 使用する木材の寸法は、概ね仕様寸法以上かつ施工に支障のでない範囲のものでなければならない。
- 6 現地発生の間伐材を使用する場合、品質・形状等については、監督職員の指示によるものとする。

第12章 仮設工, 第1節 通則, 第1201条

- 1 受注者は、仮設工については、設計図書の定め又は監督職員の指示がある場合を除き、受注者の責任において施工しなければならない。
- 2 受注者は、仮設物については、設計図書の定め又は監督職員の指示がある場合を除き、工事完了後、仮設物を完全に撤去し、原形に復旧しなければならない。

第2節 工事用仮設道路, (一般)第1202条

- 1 受注者は、工事用仮設道路の施工に当たっては、地形・気候を的確に把握し、周囲の環境に影響のないよう対策を講じなければならない。
- 2 受注者は、工事用仮設道の盛土を施工する場合は、不等沈下が生じないよう締固めなければならない。
- 3 受注者は、工事用仮設道の盛土部法面を整形する場合は、十分に締固めて法面の崩壊が生じないように施工しなければならない。
- 5 受注者は、安定シートを用いて、工事用仮設道の盛土の安定を図る場合には、安定シートと盛土が一体化して所定の効果が発揮できるように施工しなければならない。

2.3.5. 東日本高速道路 土木工事共通仕様書, 2022.

第1章 総則, 1-22 工事用道路

1-22-3 受注者の都合による工事用道路の変更：受注者が、自らの都合により発注者の指定した工事用道路に替えて他の道路を使用しようとするときは、その理由を監督員に提出し、監督員の確認を得た上で、受注者の責任において使用するものとする。

1-22-4 その他の工事用道路：発注者が工事用道路を指定しない箇所の道路は、受注者の責任において使用するものとする。

第1章 総則, 1-26 環境対策

1-26-1 環境対策の基本姿勢：受注者は、関係法令及び条例並びに仕様書の規定を遵守の上、騒音、振動、大気汚染、水質汚濁等の問題については、施工計画及び工事の実施の各段階において十分に検討し、周辺地域の環境保全に努めなければならない。特に次の各号に示す地域の工事施工には十分な対策を講じなければならない。（気候変動対策的な記述はない）

- (1) 相当数の住居が集合している区域
- (2) 学校、保育所、病院、診療所、図書館、特別養護老人ホーム等の敷地の周囲おおむね 80m 区域における騒音・振動対策
- (3) その他騒音、振動が問題となる区域
- (4) 一般道路への工事用車両の乗り入れ区域
- (5) 河川、溜池、地下水等を用水とする地域

2.3.6. 仮設工事と木材に関する関連法規のまとめ

以上の仕様書に記されている、仮設工事と木材に関する事項をまとめると以下の通りとなる。

- (1) 仮設工事について、関東地方整備局土木工事共通仕様書（以降、「国交省仕様書」と呼ぶ）、農林水産省農村振興局整備部設計課土木工事共通仕様書（以降、「農水省仕様書」と呼ぶ）、林野庁治山工事標準（以降、「林野庁仕様書」と呼ぶ）、東日本高速道路土木工事共通仕様書（以降、「NEXCO 仕様書」と呼ぶ）では、「受注者の責任において施工しなければならない」ことが記載され、工事完了後は、国交省仕様書、農水省仕様書、林野庁仕様書では、仮設物を完全に撤去し、原形に復旧しなければならないことが記載されている。一方、NEXCO 仕様書では、工事完了後の撤去について、特に記載がない。
- (2) 工事用道路は、国交省仕様書、農水省仕様書、林野庁仕様書では、盛土に不等沈下を生じないように、また、盛土のり面が崩壊しないように締固めなければならないと記載され、盛土の仕様について、安定性の確保と不等沈下の抑制が必要だと解釈できる。
- (3) 工事用道路の安定化を図るために、国交省仕様書、農水省仕様書、林野庁仕様書では、安定シートによる盛土の安定化が記載されている。
- (4) 環境対策については、国交省仕様書、農水省仕様書で、工法、建設機械または目的物の使用にあたっては、グリーン購入法による環境物品の使用を積極的に推進すると記載されている。
- (5) 気候変動対策に直接関連する木材の利用についての「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（都市（まち）の木造化推進法）」については、いずれの仕様書についても記載がない。
- (6) 木材の使用については、合法性が証明された木材を使用することが、農水省仕様書のみに記載されている。

- (7) 木材の寸法について、国交書仕様書、農水省仕様書、林野庁仕様書で、製材においては仕上がり寸法、素材については特に明示する場合を除き末口寸法とすることが記載されている。
- (8) 木材の使用寸法について、概ね仕様寸法以上かつ施工に支障がない範囲のものでなければならないことが、林野庁仕様書のみに記載されている。
- (9) 木材のうち、木杭及び丸太について、設計図書で示す場合を除き、樹皮を剥いだ生木を使用することが、農水省仕様書のみに記載されている。

2.4. 軟弱地盤上に CLT を用いた地盤補強を行う場合の設計

前項までに示したように、仮設工事は、受注者の責任において実施するものであり、自由度が高いと言えるが、一般的な法規には従わなければならない。表-1 に、関連する主な法規を示す。

仮設工事であるので、自由な設計ができるが、基本的事項は、例えば以下の指針などに従って設計・施工するのが一般的である。

日本道路協会：道路土工要綱

日本道路協会：盛土工指針，道路土工

日本道路協会：軟弱地盤対策工指針，道路土工

日本道路協会：仮設構造物工指針，道路土工

地盤工学会：地盤調査法

地盤工学会：土質試験の方法と解説

仮設構造物については、一般に設計計算において地震時の検討は行わなくて良い。しかしながら、構造物が被災した場合その社会的な影響が大きい場所や工期が長い場合などは液状化などの検討を行う場合もある。このような時には、下記などにより設計を行う。

日本道路協会：V耐震設計編，道路橋示方書・同解説

CLT の許容応力度等については、以下を使用する。

平成 13 年国土交通省告示第 1024 号（最終改正 平成 30 年国土交通省告示第 1324 号）

表-1 軟弱地盤上の仮設工事を実施するにあたって関連する法規⁸⁾

区分	法規名称	公布年月・法令番号	主な規制事項
災害防止	労働安全衛生法	昭47.6 法57	労働災害防止のため遵守すべき安全措置
	火薬類取締法	昭25.5 法149	火薬類の運搬、その他取扱いの規制
	消防法	昭23.7 法186	火災防止のための遵守すべき予防措置
	急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律	昭44.7 法57	急傾斜地崩壊による災害防止指定地域内の行為の規制
	地すべりなど防止法	昭33.3 法30	地すべり防止区域内の行為の規制
	建設工事公衆災害防止対策要綱	平5.1 建設省	建設工事における公衆災害を防止するための技術基準
	土木工事安全施工技術指針について	昭57.3 建設省官技94	建設工事を安全に施工するための指針
	ガス工作物の技術上の基準を定める省令・同細目を定める告示	昭45.10 通産98 通産635	掘削により露出するガス導管に対する工事中および埋戻し時の防護等
環境保全および公害防止	都市公園法	昭31.4 法79	都市公園内の占用に関する規制
	文化財保護法	昭25.5 法214	史跡名勝天然記念物および埋蔵文化財包蔵地内の工事の規制
	環境基本法	平5.11 法91	環境の保全上の支障を防止するための工事の規制
	公害対策基本法	昭42.8 法132	環境保全のための工事の規制
	騒音規制法	昭43.6 法68	工事騒音に対する規制
	振動規制法	昭51.6 法64	工事振動に対する規制
	水質汚濁防止法	昭45.12 法138	公共用水域に対する規制
	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	昭45.12 法137	高含水の残土、廃泥水、建築廃材の処理・処分に対する規制
	再生資源の利用の促進に関する法律	平3.4 法48	建設発生土、コンクリート塊、アスファルトコンクリート塊および建設発生木材の処分の規制と再生資源としての有効利用
	下水道法	昭33.4 法79	下水道の施設および機能の損傷低下に関する規制
	産業廃棄物の処理に係る特定施設の整備の促進に関する法律	平4.5	産業廃棄物処理施設に関する法律
	建設工事に伴う騒音振動防止対策技術指針について	昭51.3 建設省官機54	建設騒音振動防止対策の指針
	薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について	昭49.7 建設省官技180	薬液注入による人の健康被害の発生と地下水等の汚染を防止するための工法選定・設計・施工および水質監視についての指針
	薬液注入工法に係る施工管理等について	平2.9 建設省経建277	薬液注入工事を行う場合の適切な施工管理について
道路交通	都道府県公害防止条例		環境保全のための工事の規制
	建設副産物適正処理推進要綱	平10.12 建設省	建設工事の副産物である建設発生土と建設廃棄物を適正に処理するために必要な基準
	道路法	昭27.6 法180	道路の占用に関する規制
	道路交通法	昭35.6 法105	道路の使用に関する規制
河川・その他	道路工事現場における標示施設等の設置基準について	昭37.8 建設省道372	円滑な道路交通確保のための道路工事現場における標示施設、防護施設の設置および管理について
	海岸法	昭31.5 法101	海岸保全区域の占用および行為の規制
	河川法	昭39.7 法167	河川区域および河川保全区域内の占用および行為の規制
	公有水面埋立法	大10.4 法57	河、湖、沼等の公共の用に供する水流、水面の占用および行為の規制
	都市計画法	昭43.6 法100	都市計画区域内の行為の規制および都市計画事業地域内の行為の規制

2.5. 既存の軟弱地盤上の仮設道路の軟弱地盤対策工法

軟弱地盤対策工法は、多数存在する。既存の軟弱地盤上の仮設道路盛土を想定し、大規模ではなく、廉価で、工期が短く、トラフィカビリティと盛土の安定性を向上させるという視点から、軟弱地盤対策工法を抽出すると、一例として以下が挙げられる。

- (1) 敷板工法
- (2) サンドマット工法
- (3) シート・ネット（ジオテキスタイル）工法
- (4) 表層混合処理工法

2.5.1. 敷板工法

ここでは、軟弱地盤に鉄板などの敷板を直接軟弱地盤に設置し、その上を車両や重機が走行できるようにする工法を敷板工法と呼ぶこととする。一般的には、この工法は、その上に盛土などを造成せずに、直接車両などが走行する工法で、中でも敷き鉄板を敷設することは、多くの工事現場で使用されている。敷き鉄板は、頑丈で耐荷重も大きいことから、敷板工法の大半であると言えるが、重量があり、運搬や取扱が容易ではないので、最近ではプラスチック製の製品やウッドプラスチックによるもの、さらには、CLT による敷板²⁹⁾が開発されている。ここでは、敷き鉄板、プラスチック敷板、ウッドプラスチック敷板の概要を以下に示す。

(1) 敷き鉄板

敷板 1 枚当たりの質量：802 kg (1,524×3,048×22 mm)，173 kg/m² ※1

耐荷重：3 MN 以上 ※2

特徴：重い(大量運搬できない，運搬費が高い，取り扱いに重機が必要)

強い

耐久性が高く，材料のリサイクルが可能

手荒い使用にも耐える

使用状況：写真-2 を参照。

※1：ジャスコホームページより

※2：敷板 net ホームページより

(2) プラスチック敷板

敷板 1 枚当たりの質量：22 kg (915×1,830×12.7 mm)，13.1 kg/m² ※3



写真-2 敷設された敷き鉄板の状況

耐荷重：0.800～1.2 MN 以上 ※4

特徴：たわみ易い

軽い（しかし、置くだけでは動きやすい）

大量運搬が可能

価格が安い

使用状況：写真-3 を参照.

※3：敷板 net ホームページ(強化型プラスチック敷板 UltraX)より

※4：敷板 net ホームページより

(3) ウッドプラスチック敷板

敷板 1 枚当たりの質量：21 kg (910×1,820×12.7 mm), 12.7 kg/m² ※5



写真-3 敷設されたプラスチック敷板 ※4

耐荷重：1.2 MN 以上 ※1

特徴：たわみ易い

木質材料とプラスチックの混合体

軽い（ただし、置くだけでは動きやすい）

大量運搬が可能

価格が安い

加工しやすい

使用状況：写真-3 を参照.

※1：(株)ウッドプラスチックテクノロジー (W ボード) ホームページより



写真-4 敷設されたウッドプラスチック敷板 ※5

2.5.2. サンドマット工法

サンドマット工法は、軟弱地盤上の盛土などを施工する場合に、土構造物施工時の重機のトラフィカビリティーの向上、排水層の確保、盛土内の水位低下などを目的に、表層に0.5～1.2 m程度の厚さの砂を敷き均し設置する工法である（図-2 参照）。

サンドマットの厚さは、施工機械の施工に必要なトラフィカビリティーを確保するために、表-2を参考に設定する。ただし、地盤が軟弱で、大きなコーン指数を確保できないときには、サンドマットの厚さが大きくなり過ぎ不経済になる場合もあり、表層混合処理工法、敷板、ジオテキスタイルなどの工法を併用する。

【強み】排水層として使用可能、施工が容易、コストが安い、施工が短い

【弱み】地盤の強度が低い場合は適用できない、分散効果を上げようとする厚さが必要となる

表-2 表層のコーン指数とサンドマットの厚さ⁹⁾

表層のコーン指数 q_c (kN/m ²)	サンドマット厚さ (m)
200 以上	0.5
200～100	0.5～0.8
100～75	0.8～1.0
75～50	1.0～1.2
50 以下	1.2

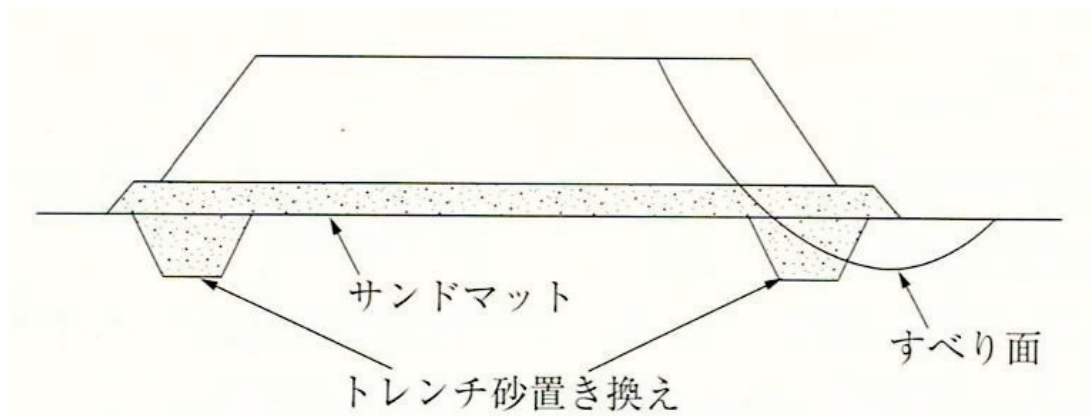


図-2 サンドマット工法の一例¹⁰⁾

2.5.3. シート・ネット(ジオテキスタイル)工法

シート・ネット工法は、トラフィカビリティや盛土の安定性確保のために、高張力でフレキシブルな合成樹脂のシートやネット（ジオテキスタイル）を軟弱地盤の表層に設置し、軟弱地盤を補強する工法である。図-3に、ジオテキスタイルを敷設し他地盤の変形と応力を模式的に示す。写真-5に、安定シートの施工状況を示す。

【強み】 施工時間が短い，施工が容易，比較的低コスト，柔軟性がある，

【弱み】 高含水率地盤や不均質な地盤は適用しにくい

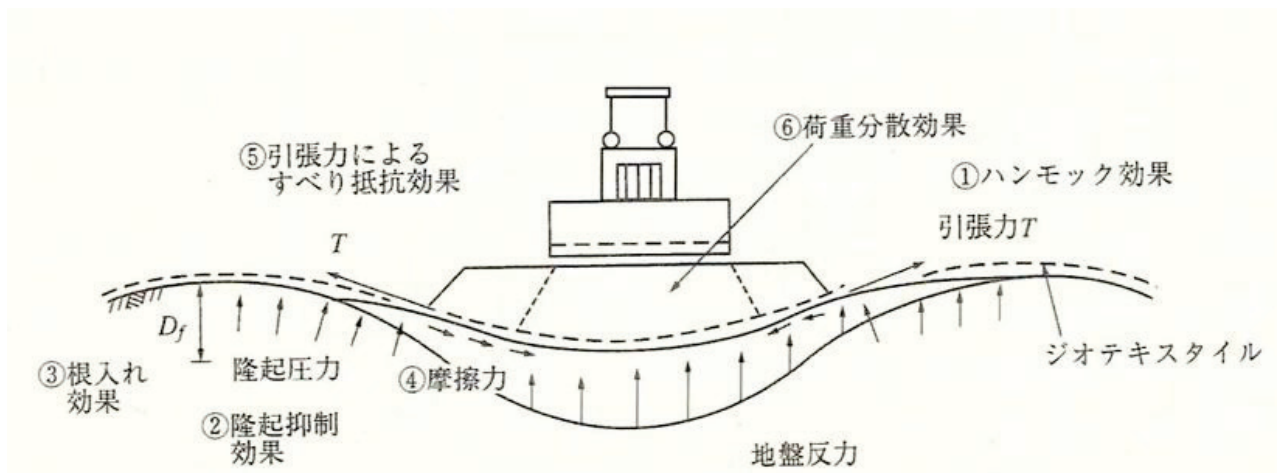


図-3 ジオテキスタイル工法の一例¹⁾



写真-5 安定シートによる軟弱地盤表層安定処理工

前田工織(株)ホームページより

2.5.4. 表層混合処理工法

表層混合処理工法は、トラフィカビリティーや地盤の安定性を図るために、軟弱地盤の表層部分を固化材（セメントや石灰等）と攪拌混合する工法である。一般的には、深さ 2m 程度までが対象だが、縦型攪拌施行機（とランチャ式）を用いて 10 m 程度の深さまで施工が可能である。図-4 に、表層混合処理工法の種類を示す。

【強み】 施工が比較的容易、施工が比較的速い、コストが比較的低い、

【弱み】 土質に固化材が適合しない場合がある、比較的大きな重機が必要、改良深さが深い場合は大きな重機必要、六価クロムが溶出する場合がある、粘性土地盤では攪拌により地盤強度が低下する、地盤が固化するにはやや時間を要す、撤去はできない

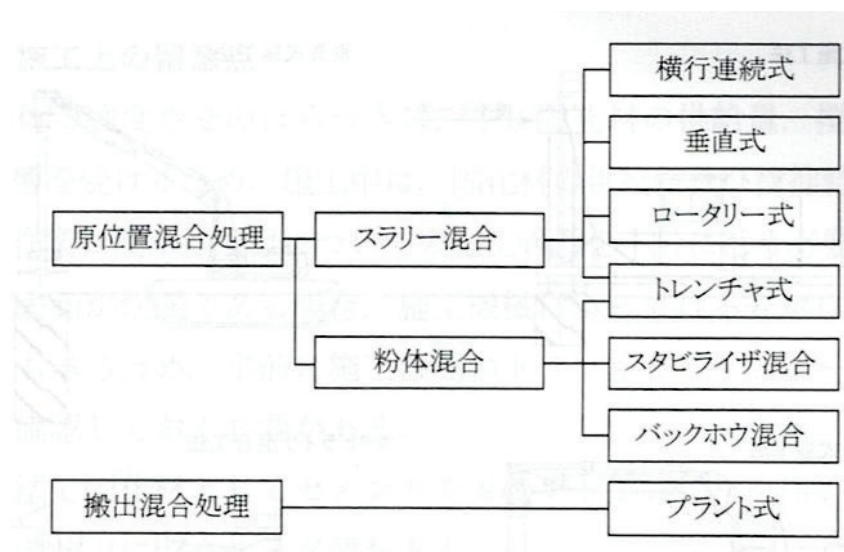


図-4 表層混合処理工法の分類¹²⁾



写真-6 表層混合処理工法の施工状況

(株)サムシングホームページより

3. 想定される軟弱地盤上の仮設道路の軟弱地盤対策への CLT 水平補強による適用

3.1. CLT を利用する背景と意義

土木分野への木材の利用拡大は、安全安心な社会構築と気候変動緩和を同時に実現させ、今後の持続的な発展を進める上で、現実的で具体的な施策と言える。土木分野における木材利用は、適用先が多く、またその利用ポテンシャルは大きいと推定されている¹³⁾が、まだ木材利用が格段に増加したとは言えないのが現状である。

一方、建築分野への木材利用は、3 階建て以下の住宅の木造建築物の割合（床面積の比率）が 83%（国土交通省、2023 年度）で、住宅への適用は飽和状態になり、住宅着工件数も今後大幅に増加するとは考えにくく、非住宅や中高層建築物での木造化・木質化が模索されている（令和 5（2023）年度森林・林業白書、林野等）。そのような中、直交集成板（Cross Laminated Timber, 以下「CLT」と呼ぶ）が注目されている。CLT 利用は、2014（平成 26）年度と、2017（平成 29）年度にロードマップが策定され、概ねこの通りの成果を上げてきており、CLT を用いた 4 階建て以上の住宅や非住宅への適用が増え、2023 年度には CLT を用いた建築物の竣工件数は 1,000 件を超えると見込まれている（内閣官房、2023 年 10 月 26 日）。

2021（平成 3）年度には、更なる CLT の利用拡大を目指し、新ロードマップが策定された（CLT 活用促進に関する関係省庁連絡会議、2022 年 9 月 20 日改定）。この中で、建築以外の分野での活用として、土木分野で活用可能な CLT 製品の開発が盛り込まれた。土木分野における木材利用は、適応先も多く、利用ポテンシャルも大きいので、新たな木材の需要先として、大きな可能性が考えられる。しかしながら、その使用事例は海外も含め、駅舎などの建築的な使用、橋梁、軟弱地盤上の仮設道路の事例などに留まるのが現状である¹⁴⁾。そこで、一般社団法人日本 CLT 協会では、新たな CLT の利用が種々検討されてきた¹⁵⁾。当初、CLT が軽量かつ強度があり、板状で環境的に優位な材料であることに加え、CLT が今後大量に使用されるために、長期的（50 年程度以上）に使用可能で、1 個所で大量に使用され多くの利用が期待され、技術的なハードルがあまり高くなく、法的な制約も多くないといった理由から、CLT を用いた軟弱地盤水平補強工法が考えられた。これは、軟弱地盤上の盛土を想定し、CLT を軟弱地盤上に水平に板状に敷設し、軟弱地盤対策とするものである。

この実現性を検討するために、CLT を水平に敷設し、そこに高さ 1m の実大規模の盛土を造成した実証実験も実施した（4. 軟弱地盤上の盛土の CLT 水平補強による軟弱地盤対策実証実験）。この実験では必ずしも十分な結果を得ることができなかった。そこで得られた結果を参考にしながら、現段階でも使用の可能性が考えられる軟弱地盤上の仮設工事などの適用を考えた。

3.2. 仮設道路の軟弱地盤対策にCLT 地盤補強を適用するメリットとデメリット

3.2.1. 軟弱地盤対策にCLT 地盤補強を適用するメリットとデメリット

表-3に、軟弱地盤対策にCLT 地盤補強を適用するメリットとデメリットを木材という視点とCLT という視点でまとめた。特に軟弱地盤における仮設工事においては、CLT は軽いということは大きなメリットである。軽いがゆえに一度に大量のCLT を運搬でき、また、超軟弱地盤であっても沈むことがないので、直接敷設していくことが可能であり、特別に大きな機械を用いることなく施工が短時間で実施可能となる。また、CLT が敷き鉄板と同程度に、大きな板状の平面的に強度を持った材料であることから、上からの荷重を分散し軟弱地盤に伝達でき、せん断変形を抑制することが期待できる。さらに、適用先が地下水位の浅い軟弱地盤となることから、CLT を敷設後には、CLT が地下水位以深となるか、毛管水頭で水上げられた飽和地盤以深になると想定できるので、木材の大きなデメリットである生物劣化の可能性が克服され、仮設工事期間中には、十分耐久性が持続すると考えられる。

表-3 CLT 水平地盤補強のメリットとデメリット

	M or D	項目	要因	評価	コメント
木材	メリット	木材であるが故の	1. 基本的に木材が持つメリットを引き継ぐ	—	
			2. 加工が容易	○	孔開けなど現地加工を容易に実施可能
			3. 軽い	◎	大量運搬が可能、取り扱いが容易
			4. 熱伝導率が低い	○	寒冷地の凍上で有利
			5. 木材炭化できる	—	
	デメリット	木材であるが故の	1. XY方向に木材を直交させている	◎	板としての機能を期待できる
			2. 部材はラミナである	—	
			3. ラミナの多層構造である	—	
			1. 基本的に木材が持つデメリットを引き継ぐ	—	
			2. 持続可能性を考慮すると再造林が必要	◎	事業が成立すれば川上にお金が流れる
CLT	メリット	木材であるが故の	3. 繊維飽和点以下の範囲では含水率が上がると膨張する	◎	地盤内では膨張が有効
			4. 乾燥が進むと収縮する	◎	地盤内では問題とならない
			1. XY方向貼り合わせラミナの太断面の多層構造	○	XY方向に均質化される
			1. コンクリートや鉄に比較し軽い	○	施工時の取り回しが容易
			2. 熱伝導率が低い	○	寒冷地の凍上で有利
			3. 調湿効果がある	—	
			4. 燃える	—	
			5. 生物劣化する	—	
			6. 炭素を貯蔵する	◎	地中利用で長期利用が可能となり炭素貯蔵が可能となる
			7. 比較的塩害に強い	○	沿岸近くなどで有利
	デメリット	木材であるが故の	8. 経年変化で色が落ち着く	—	
			9. 視覚的に自然環境に馴染みやすい	—	
		CLTとすることによる	1. 大判の面材である	◎	板状構造を活用できる
			2. 工場製品である	○	品質が確保できる
			3. 塑性化、脆性化しにくい	○	地震時などの想定外の外力に対して有利
			4. 加工が容易である	○	孔開けなど現地加工を容易に実施可能
			5. 林業、木材、建設産業にまたがる	○	土木事業に適合する
			6. 空気、水、温度、栄養の条件が揃わなければ劣化しない	◎	地下水以深の利用で、長期利用が可能となる
		デメリット	1. 生物劣化を生じる場合があり性能低下が急激	◎	地盤中の地下水位以深に設置することで生物劣化の心配を克服できる
			2. 経年変化で変色する場合がある	—	
			3. 燃える	◎	地中で使用することで燃焼の心配を克服できる
			4. 金属としては熱伝導率が大きく異なる	—	
	CLTとすることによる		1. 大判の面材である	◎	むしろ大判が有利
			2. 新しい材料である	—	
			3. 強度はあるが鋼材ほどではない	○	大きな強度はそれほど必要とならない
			4. 内層に低品質材を用いることができる	◎	低コスト化を可能にする
			5. 接合材が必要になる	△	接合が必要な場合には接合材を使用せざるを得ない
			6. 接着剤を用いている	△	地盤中の地下水位以深で使用するためそれに耐える接着剤が物理的な接着が必要

メリットに対して：◎大いに活用、○活用、—対象外

デメリットに対して：◎かなり克服、○ある程度克服、△克服できない、—対象外

3.2.2. CLT 水平地盤補強を仮設道路に適用する場合のメリット・デメリット

N 値=0 の超軟弱地盤に、盛土高さ 1 m 程度の仮設道路を造成し、1 年間程度使用することを想定し、CLT 水平地盤補強（今後、改良されるであろうが、ここでは次章で示す実証実験を参考とした現段階における評価）と既存工法について、2.1.3 項に示した、「軟弱地盤対策に求められる主なこと」などの観点から比較を行う。ただし、敷板工法は、敷き鉄板を用いすることとし、盛土を造成せずにそのまま使用することを想定する。表-4 に、比較結果を示す。

敷板工法は、一般的には施工が早く、トラフィカビリティーを確保しやすく、安価で施工が容易で、材料の調達も容易で、さらに、工事完了時には撤去が容易で、多くの工事で頻繁に使用されているが、超軟弱地盤に対しては、敷き鉄板が沈み込んでしまい、むしろ手間取ると考えられる。また、鉄を使用するので、材料製造時の GHG（Greenhouse Gas）の排出量も大きい。

サンドマット工法も、一般的には、敷板工法ほどではないが、施工が早い。さらに、トラフィカビリティーを確保しやすく安価で施工が容易で材料の調達も容易で、材料製造時の GHG の排出量が少なく環境的にも優位で、工事完了時の撤去も比較的容易であり、多くの工事で頻繁に使用されている。しかしながら、超軟弱地盤に対しては、サンドマットの厚みが必要になる場合が多く、厚みの大きな盛土をするがゆえに沈下量が大きくなり安定性が確保できなくなったり、周辺地盤に変位を発生させてしまうこともあり、他工法との併用が必要になることが多い。

この併用工法として、シート・ネット工法が用いられることがある。これにより、サンドマットの厚さを低減できる。このため、シート・ネット工法は、施工が早く、トラフィカビリティーを確保しやすく、施工が容易で、工事完了時の撤去も比較的容易である。一方、多くの場合合成樹脂のシートが用いられるので、コストがやや高くなり、材料製造時の GHG 排出もやや多くなり、調達も限られた拠点からとなるため、その分工事による GHG 排出量が増加すると考えられる。

表層混合処理工法は、セメントなどの固化剤をバックホウなどで地盤と混合固化させるもので、施工が容易で材料調達も容易で、硬化後は地盤の強度が高くトラフィカビリティーも確保できるが、混合固化させるために、地盤は一時的にかなり緩み、地盤が固化し効果を発揮するまでに時間を要し、セメントを使うので材料製造時の GHG 排出も大きく、工事完了時の撤去は基本的に不可能である。

これらに対し、CLT 水平補強は、敷き鉄板と同様に CLT を敷設するだけで盛土造成が可能で、シート・ネット工法のシート・ネットの代替として CLT を使用すると捉えられ、類似点が多い。特徴は、CLT が軽量の板材料であることであり、超軟弱地盤での敷設が容易で施工も早く、トラフィカビリティーも容易に確保できる。製造時 GHG の排出削減効果は、短期的ではあるが炭素貯蔵効果も考慮すると優位であると考えられ、工事完了後の撤去も容易である。ただし、現段階ではまだ材料が高価で、限られた拠点でしか調達ができず、その運搬により GHG の排出も多くなる。

なお、これらの工法は、いずれも特殊な施工機械を使わず施工が容易であり、施工による騒音・振動が少ないといった特徴がある。また、いずれも軟弱地盤表層付近の補強となるため、せん断特性の強化や不同沈下の抑制にはつながるが、圧密沈下量の抑制には効果がない。

以上の通り、CLT 水平補強は、現段階で高価であるといった点を除けば、優位な点が多く、現場の条件によっては使用できる個所も多いと考えられる。

表-4 CLT 水平地盤補強と既存工法との比較（地盤条件：超軟弱地盤，盛土厚：1 m，共用期間：1 年）

	敷板工法※ (敷き鉄板)	サンドマット工法	シート・ネット 工法	表層混合処理工法 (バックホウ混合)	CLT 水平補強
改良効果が早期に発揮される	△	○	◎	×	◎
施工期間が短期	◎	○	○	△	○
安価	◎	○	△	△	×
材料入手が容易	◎	○	△	○	△
施工機械が一般的	◎	◎	◎	◎	◎
トラフィカビリティーの確保	×	○	◎	◎	◎
周辺地盤への影響が少ない	○	△	○	◎	○
騒音・振動が少ない	◎	◎	◎	◎	◎
工事完了後の撤去が容易	◎	○	○	×	○
材料製造時 GHG 排出削減効果が大きい	×	○	△	×	◎
施工時 GHG 排出が少ない	◎	◎	○	◎	○
せん断特性の強化	○	○	◎	◎	◎
圧密沈下量の抑制	×	×	×	×	×

◎：かなり有利

○：やや有利

△：やや不利

×：かなり不利

※敷き鉄板により敷板工法は，盛土を造成しないものとする。

3.3. 軟弱地盤上の仮設道路で CLT 水平補強を想定した円弧すべり安定計算法による設計

3.3.1. 設計の考え方

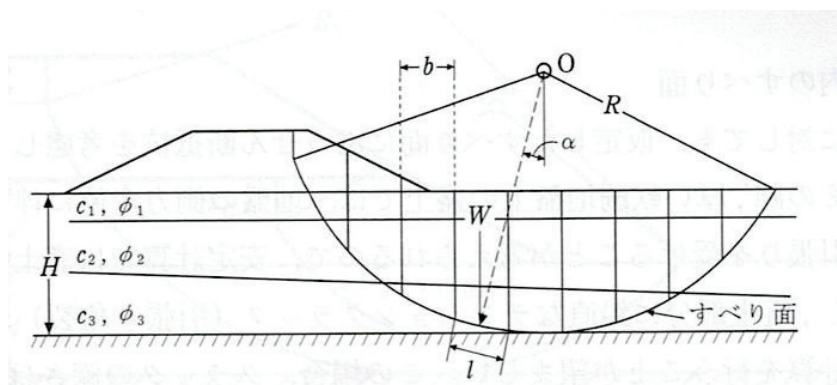
ここでは、軟弱地盤上の盛土の盛土断面（路線直工方向）における安定性の検討について、円弧すべり安定計算法を考えてみる。なお、次章での実証実験で、これに対する検証がでなかったため、今後、実証実験などでの検証が必要である。

図-5 に、全応力法による円弧すべり安定計算法を示す。円弧すべり安定計算法には、全応力法と有効応力法がある。有効応力法は、より理論的であるが、仮設の計算法としては、必要な調査などが多く、適用が非現実的なため、ここでは全応力法が適している。また、盛土奥行き方向が強軸方向となる CLT の敷設は、明らかに安定性を高める方向にあると考えられるので、盛土断面の安定性の設計計算では無視することとする。

計算に必要な定数は、以下の3つである。

- (1)土の湿潤密度 ρ_t (kg/m³)
- (2)土のせん断抵抗角 ϕ (°)
- (3)土の粘着力 c (kN/m²)

ここで、各定数は、盛土を含め各層ごとに設定する。CLT も 1 つの層として設定する。CLT のせん断抵抗は、(1)式示すように CLT の積層方向（面外せん断方向）の樹種に応じた基準強度 F_s に 0.7 を乗じた値を円弧すべり安定計算法の粘着力 (kN/m²) として与える。



$$F_s = \frac{\sum \{c \cdot l + (W - u_0 \cdot b) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\sum (W \cdot \sin \alpha)}$$

ここに、

F_s : 安全率

c : 土の粘着力 (kN/m²)

ϕ : 土のせん断抵抗角 (°)

l : 細片で切られたすべり面の長さ (m)

W : 細片の全重量、載荷重を含む (kN/m)

u_0 : 静水位時における間隙水圧 (kN/m²)

b : 細片の幅 (m)

α : 細片のすべり面平均傾斜角 (°)

図-5 全応力法による円弧すべり安定計算法¹⁶⁾

$$c_{CLT}=0.7 \times F_s \quad (1)$$

ここで、0.7 を乗じるのは、木材が常時湿潤状態にあると想定されるために強度を低減するものである¹⁷⁾。

なお、盛土に作用する載荷重は、自動車の交通の状況や施工状況を考慮して適切に決めるが、盛土の設計に当たっては、10 kN/m² を用いる¹⁸⁾。

地盤定数を決める当たり、地盤調査データが標準貫入試験結果しかない場合が多く、 $N \leq 2$ の地盤では、強度定数が全く得られない場合も多い。また、盛土の延長方向の地盤の物理的、力学的性質は、大きく変化するので、コーン貫入試験や、スクリーウエイト貫入試験などによる補足調査を実施するとよい。

ただし、それらすら得られない場合には、以下に示す経験値により設計する。

(1) N 値より土のせん断抵抗角 ϕ を求める

N 値より(2)式で土のせん断抵抗角 ϕ を求める¹⁹⁾。

$$\phi = \sqrt{15N} + 15 \leq 45^\circ \quad (2)$$

このとき、粘着力 c は、 $c=0$ とする。

(2) N 値より土の粘着力 c を求める

試験結果や十分な資料がない場合には、表-5 を用いて、 N 値より粘着力 c を求める¹⁹⁾。

表-5 粘性土の粘着力と N 値の関係¹⁹⁾

硬さ	非常に軟らかい	軟らかい	中位	硬い	非常に硬い	固結した
N 値	2 以下	2~4	4~8	8~15	15~30	30 以上
粘着力 c (kN/m ² (tf/m ²))	12 以下 (1.2 以下)	12~25 (1.2~2.5)	25~50 (2.5~5.0)	50~100 (5.0~10)	100~200 (10~20)	200 以上 (20 以上)

(3) 土質定数の経験値

特に仮設の場合、 N 値のデータすらない場合も多く、その場合は、土質定数の経験的な値を用いる。表-6 に、土質定数の経験的な値を示す²⁰⁾。

(4) CLT のせん断の基準強度

また、CLT の積層方向（面外方向）のせん断の基準強度を表-7 に示す。この値は、同一等級構成（S）または異種等級構成（Mx）や、等級区分によらない。樹種が異なる構成の場合は、せん断の強度の小さい方の値を用いる。ただし、CLT の水平地盤補強の場合、湿潤環境で用いることから、前出の(1)式で示した通りせん断の基準強度に 0.7 を乗じて用いる。

表-6 土質定数の一般的な値²⁰⁾

種 類		状 態	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	地盤工学会基準 ^{注2)}
盛土	礫および礫まじり砂	締め固めたもの	20	40	0	{G}
	砂	締め固めたもの	20	35	0	{S}
		分級されたもの	19	30	0	
	砂質土	締め固めたもの	19	25	30 以下	{S F}
	粘性土	締め固めたもの	18	15	50 以下	{M}, {C}
	関東ローム	締め固めたもの	14	20	10 以下	{V}
自然 地盤	礫	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	40	0	{G}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	35	0	
	礫まじり砂	密実なもの	21	40	0	{G}
		密実でないもの	19	35	0	
	砂	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	30	0	
	砂質土	密実なもの	19	30	30 以下	{S F}
		密実でないもの	17	25	0	
	粘性土	固いもの（指で強く押し多少へこむ） ^{注1)}	18	25	50 以下	{M}, {C}
		やや軟らかいもの（指の中程度の力で貫入） ^{注1)}	17	20	30 以下	
		軟らかいもの（指が容易に貫入） ^{注1)}	16	15	15 以下	
	粘土およびシルト	固いもの（指で強く押し多少へこむ） ^{注1)}	17	20	50 以下	{M}, {C}
		やや軟らかいもの（指の中程度の力で貫入） ^{注1)}	16	15	30 以下	
		軟らかいもの（指が容易に貫入） ^{注1)}	14	10	15 以下	
		関東ローム		14	5(ϕ_h)	30 以下

注1) ; N 値の目安は次のとおりである。

固いもの (N=8~15), やや軟らかいもの (N=4~8), 軟らかいもの (N=2~4)

注2) ; 地盤工学会基準の記号は, おおよその目安である。

表-7 CLT の積層方向 (面外方向) のせん断の基準強度²¹⁾

せん断方向	樹種	せん断の基準強度 F_s (MN/m ²) (湿潤環境)
積層方向	ひのき, ひば, からまつ, あかまつ, くろまつ, べいひ, ダフリカからまつ, サザンパイン, べいまつ, ホワイトサイプレスパイン及びウエスタンラーチ	1.2 (0.84)
	つが, アラスカイエローシダー, べにまつ, ラジアタパイン及びべいつが	1.1 (0.77)
	もみ, とどまつ, べいもみ, スプルース, ロッジポールパイン, おうしゅうあかまつ及びジャックパイン	1.0 (0.70)
	すぎ及びべいすぎ	0.9 (0.63)

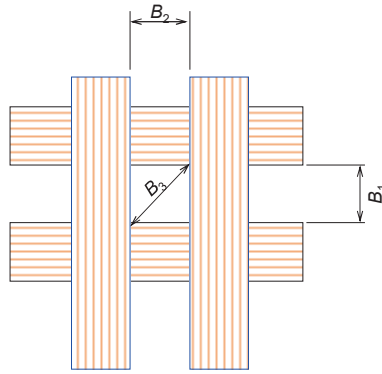


図-7 CLT 間の距離

(5) CLT 間の距離の計算

CLT 水平地盤補強を実施するとき、CLT を全面に敷設するよりも、CLT と CLT の間に隙間を設け、井桁状にすると経費削減になる。この場合、CLT の間隔が長ければ、CLT による荷重の分散効果は期待できない。このため、盛土による荷重を確実に CLT へ伝達するには、CLT の間隔に対して、所定以上の盛土厚さが必要になると考えられる。そこで、盛土の必要厚さの検討を次のように考える。

図-7 に、CLT を井桁状に重ねたときの CLT 間の距離を示す。ここで、最も CLT 間隔が大きくなる長さは、 B_3 である。図-8 に、CLT と盛土の断面図を示す。CLT 間の地盤が沈下したと仮定すると、CLT 間の距離が長いとこの間の盛土が主働破壊することになる。盛土厚 T_s が、(3)式で示す厚さ以上であれば、CLT 間に盛土材は主働崩壊しないこととなり、盛土荷重を確実に CLT に伝達し、盛土荷重を分散できると言える。

$$T_s \geq \frac{(B_1^2 + B_2^2)^{\frac{1}{2}}}{2} \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

ここで、 ϕ : せん断抵抗角 (°)

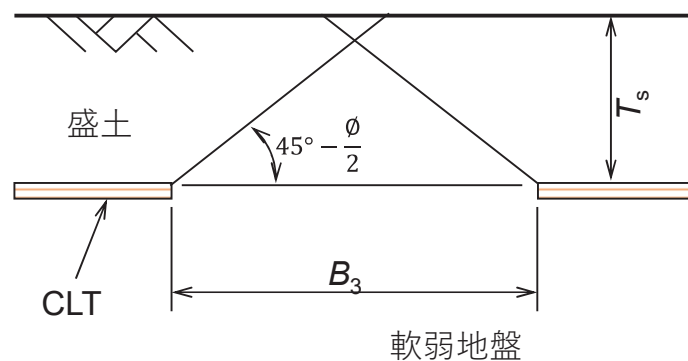


図-8 CLT と盛土の断面図 (CLT 間隔の距離に対する必要盛土厚さ)

3.3.2. 安定計算設計例

全応力法による円弧すべり安定計算法による計算例を示す。ここでは、CLT を井桁状に配置し、盛土の断面方向の円弧すべり安定計算を実施し、井桁状に配置した時に、CLT の間隔をどの程度あけられるかの検討を試みる。なお、必要な安全率はある程度の期間を想定し 1.2 とし、盛土奥行き方向が強軸方向となる CLT は無視することとする。

(1) 想定モデル

図-6 に、想定した円弧すべり安定計算のモデルを示す。地盤は、CLT による水平地盤補強が他の方法よりも優位になると考えられる人が立って歩けないような超軟弱な地盤とし、この上に 1.0 m の小規模な盛土による仮設工事用道路を造成することを考える。盛土は、0.5 m の掘り込みを行い、1.5 m の砂質の盛土（地表面からは 1.0 m の高さ）を造成することを想定した。地下水位面は地表とし、載荷重は 10 kN/m^2 とした¹⁸⁾。CLT は、幅 1.0 m、3 層 3 プライ、層厚 9 cm、スギ、Mx60 を用いることとする（CLT の敷設方法は、次章の図- 14 を参照）

(2) 各定数の設定

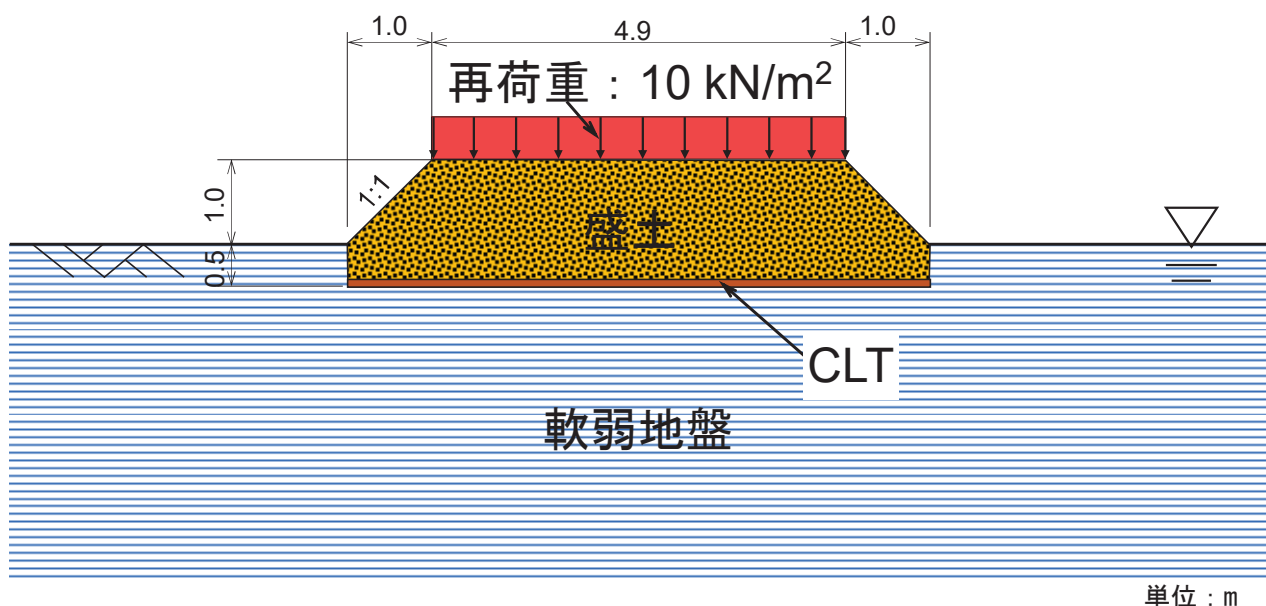


図- 6 想定した円弧すべり計算のモデル地盤

それぞれの設計に用いる定数は、表-6 および表-7 を参考に、表-8 に示すように設定した。

表- 8 円弧すべり安定計算に用いる定数の設定

対象	土質	単位体積重量 $\gamma_i(\text{kN/m}^3)$ (水中における単位体積重量 $\gamma'(\text{kN/m}^3)$)	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$ CLT の場合は、せん断の基準強度 $0.7F_{sa}(\text{kN/m}^2)$	せん断抵抗角 $\varphi(^{\circ})$
①盛土	砂質土	19(10)	0	25
②軟弱地盤	粘性土	16(7)	4	15
③CLT	スギ Mx60	0.3(0.1)	630 (=0.7×900)	0
備考		表-6 より。 地下水以深の場合は、 9 kN/m^3 を減ずる CLT は、地下水位以深で飽和状態を想定し 0.1 kN/m^3 とした。	表-6 より。 CLT は表-7 より	表-6 より。

(3) 計算方法

計算には、SOGOSYSTEM の斜面の安定計算 Ver.4 を用いた。計算式は、(4)式である。

$$F = \frac{\sum [cl + \{(W - u_0b)\cos\alpha - k_h W \sin \alpha\} \tan \phi]}{\sum (W \sin \alpha + k_h W \cdot y_G / r)} \quad (4)$$

ここで、 F : 安全率

c : 各分割片の底版位置における土の粘着力 (kN/m^2)

l : 各分割片の底版長($=b/\cos \alpha$) (m)

W : 各分割片のすべり面より上の土と水の重量(載荷重を含む) (kN/m)

u_0 : 常時地下水によって発生する間隙水圧 (kN/m^2)

b : 各分割片の幅 (m)

α : 各分割片の底版と水平面のなす角度 ($^\circ$)

k_h : 設計水平震度(ただし、 $k_h=0$)

ϕ : 各分割片の底版位置における土のせん断抵抗角 ($^\circ$)

y_G : 各分割片の重心と円弧の中心の鉛直距離 (m)

r : すべり円の半径 (m)

本検討では、地震力を考えないので $k_h=0$ である。また、CLT のせん断抵抗は、粘着力 c として入力した ($c=\text{CLT}$ のせん断の基準強度の 70%)。CLT は、スギ、3 層 3 プライ、厚さ 9cm とした。Mx60 を想定しているが、ここでの計算では Mx の特性は反映されない。井桁状の CLT の配置は、盛土の奥行き方向を考え、全面に敷設した場合を 1.0 とし、CLT 幅の占める割合 a_{CLT} (幅 1m の CLT を 1m 間隔に敷設した場合は 0.5, 幅 1m の CLT を 2.33m 間隔をあけて敷設すると 0.3) を求め、これを CLT のせん断の基準強度に乗じた ($c=0.7a_{\text{CLT}}F_s$)。図-9 に、 $a_{\text{CLT}}=0.3$ の場合の計算モデルを示す。

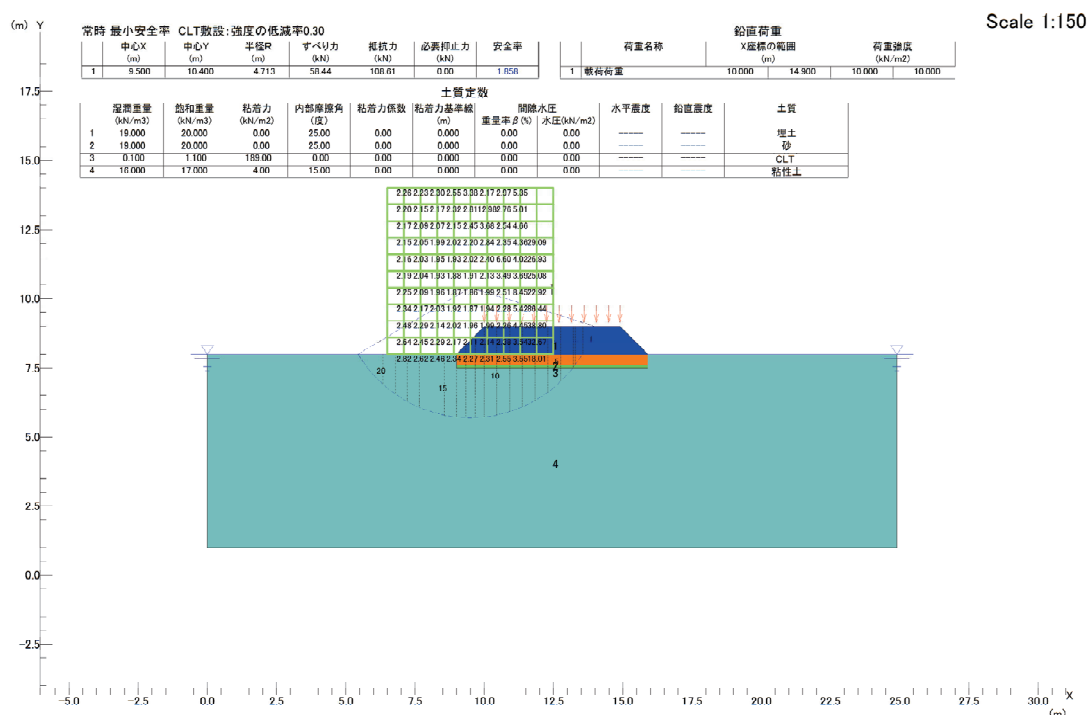


図-9 円弧すべり安定計算のモデル ($a_{\text{CLT}}=0.3$ の場合)

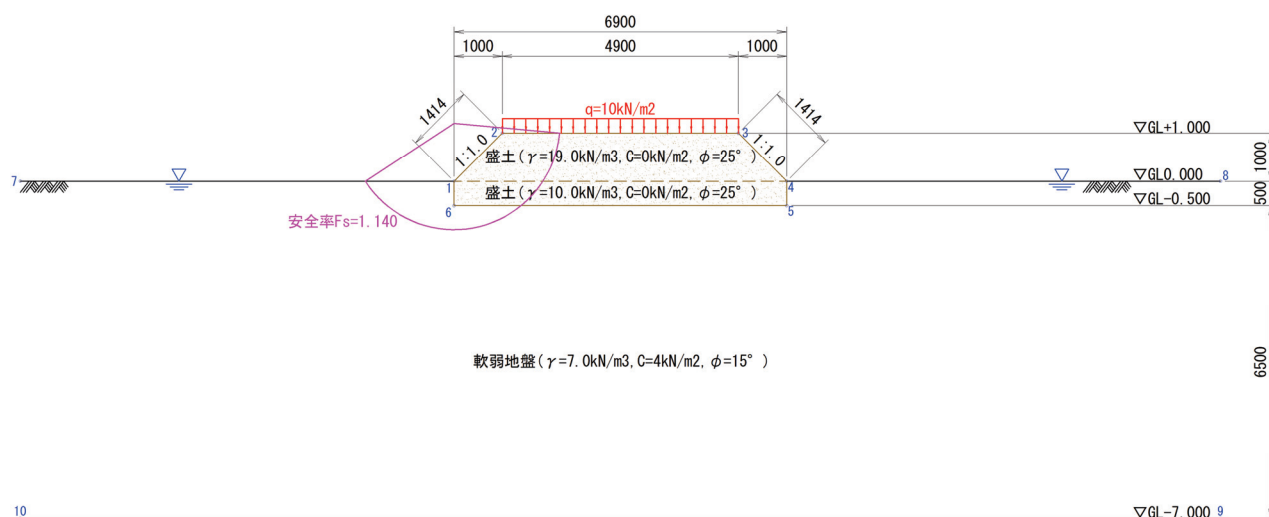
(4) 円弧すべり安定計算結果

図-10 に、円弧すべり安定計算法によって求められた、最小安全率を与える円弧を示す。CLT なしの場合 $F=1.14$ (<1.2) であった安全率が、 a_{CLT} が大きくなるに従い大きくなり、 $a_{CLT}=1.0$ の時には最小安全率は 3.46 まで大きくなるとともに、最小安全率を与える円弧の半径が大きくなり、盛土全体がすべる形状となることがわかる。このように、 a_{CLT} が大きくなると最小安全率を与える円弧は、CLT を避けるような形状となる。

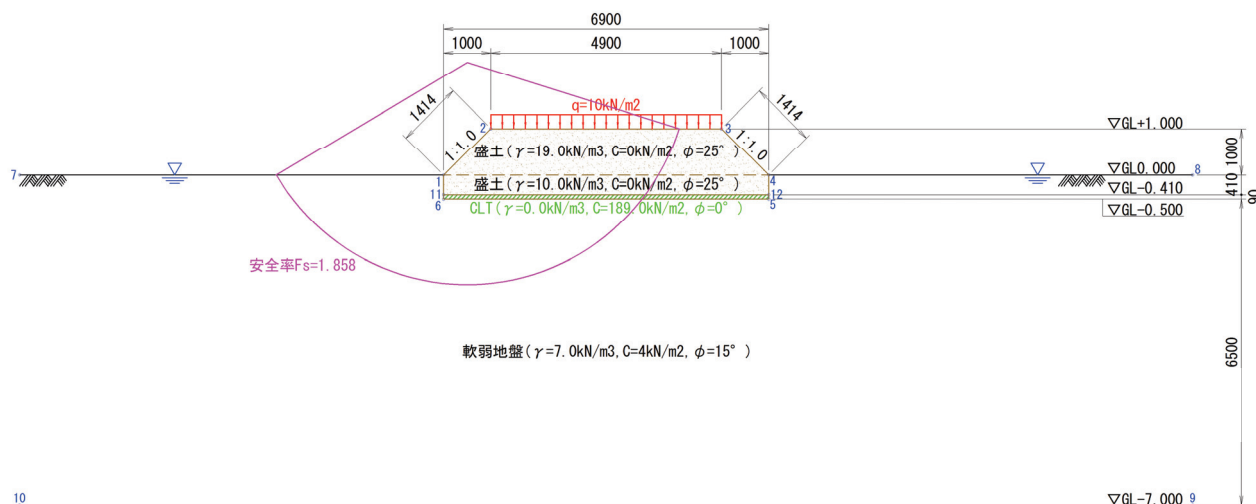
本計算では、 $a_{CLT}=0.30$ でも安全率 1.2 を満足している。この時、幅 1 m の CLT を想定すると、CLT の間隔は $B_2=2.33$ m となる。

(5) CLT 間の距離の検討

さらに、CLT 間の距離の検討を行う。前述の(3)式より、盛土厚さ 1.5 m の時で、 $B_1=B_2$ とすると、CLT の間隔は最大で 3.3 m となる。これは、2.33 m はこれよりも小さく、CLT 間の距離も、OK となる。ただし、現段階では、安全側を考え CLT 間隔を広げても等間隔 ($a_{CLT}=0.5$) 程度に抑えておくことが現実的であると考ええる。

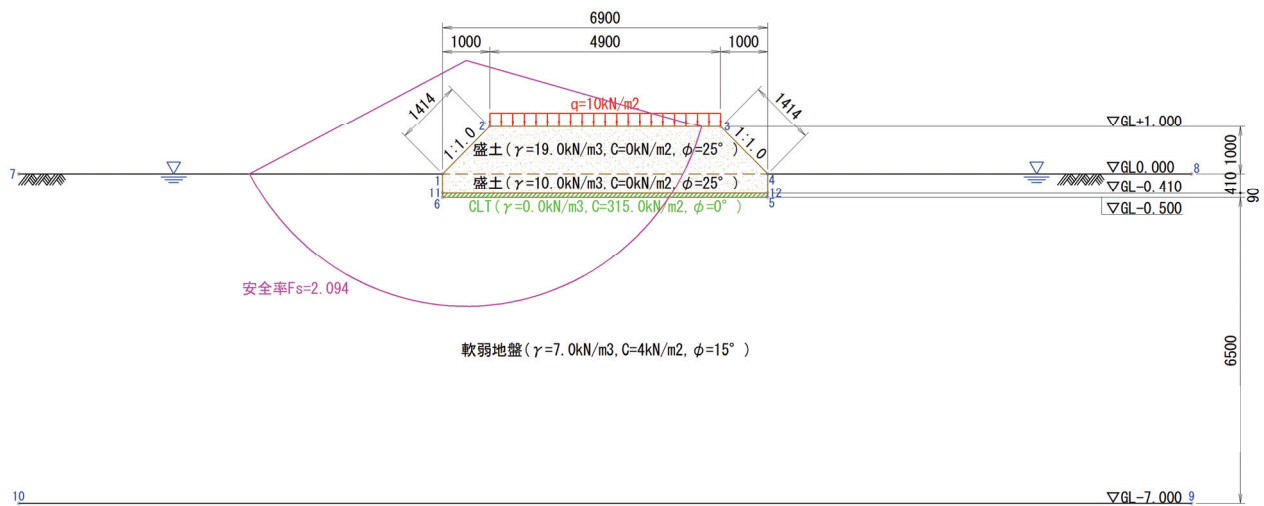


(a) CLT なし ($a_{CLT}=0.0$)

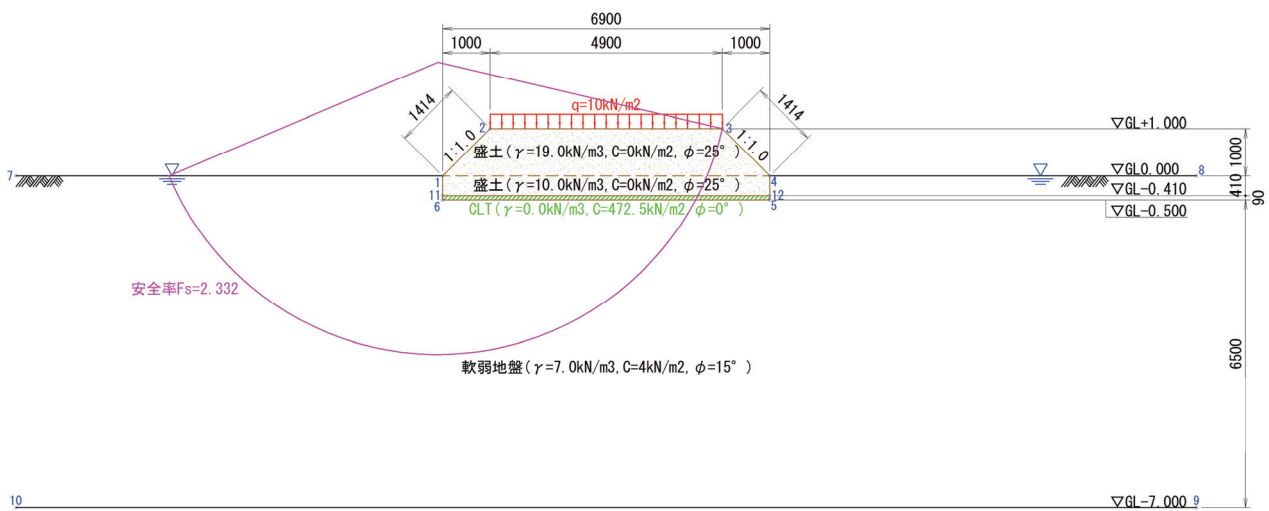


(b) $a_{CLT}=0.30$

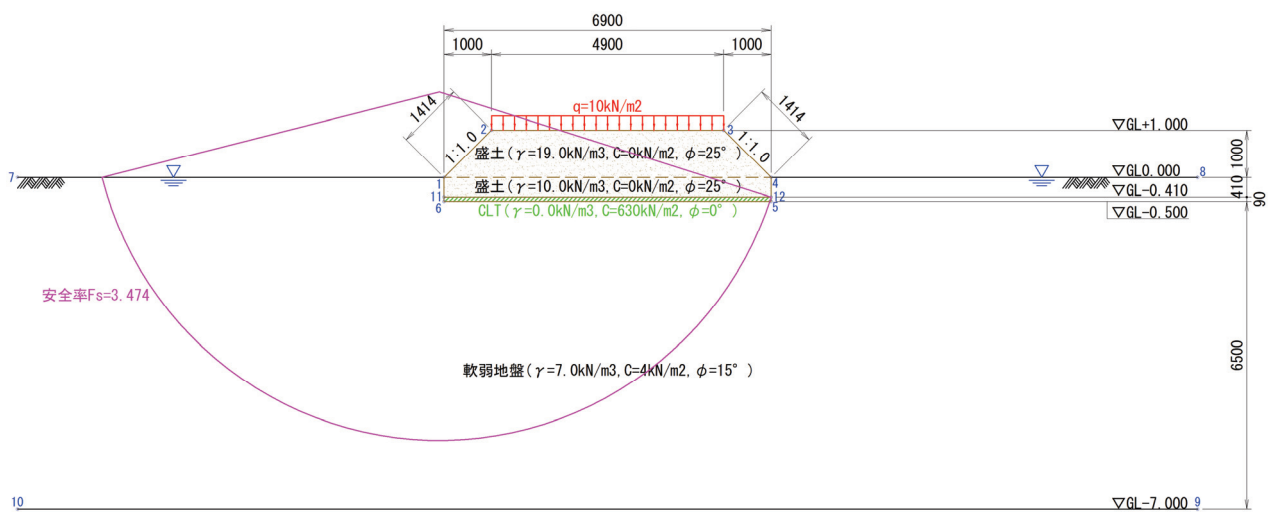
図-10 円弧すべり安定計算の結果 (その 1)



(c) $a_{\text{CLT}}=0.50$



(d) $a_{\text{CLT}}=0.75$



(e) $a_{\text{CLT}}=1.00$ (全面)

図- 10 円弧すべり安定計算の結果 (その 2)

3.3.3. 円弧すべり安定計算による設計の課題

前述の通り，安定性の検討の試案を示したが，以下が課題である。

- (1) 本計算方法案は，CLT を土中の一つの層と仮定し，その層の粘着力を CLT のせん断の基準強度の 70%とした。今後，この妥当性を実験などにより検証する必要がある。
- (2) 盛土幅が広くなれば，盛土底部全長を 1 枚の CLT で補強することができないので，数枚の CLT を強軸方向に縦に並べて，全長を補強することとなる。このため，計算例では継ぎを無視して考えたが，厳密に言えば，その継ぎ目を通すような円弧を想定すれば安全率は低下することとなる。実施工では，盛土奥行き方向で，継ぎ目の位置をずらしていけば，継ぎ目が弱層になりにくくなると考えられ，計算ではこれを考慮して a_{CLT} に反映させて計算することが考えられる。
- (3) 固化系の地盤改良などでは，その層のせん断強度の異方性は少ないと考えられる。一方，CLT のせん断強度は，異方性が強い。このため，円弧の分割片によっては，その底面が垂直よりよりも水平に近い場合も考えられる。この場合，円弧分割片の底面の角度に応じて，CLT のせん断の基準強度を設定しなければならない。ここでは，CLT のせん断強度が最も小さい CLT の面外方向に対するせん断強度を用いたので，かなり保守的な結果を与えていると考えられる。
- (4) CLT の接着層は，次章の実証試験の結果では 1.8 年間では劣化することはなかった。一方で，CLT 内部の亀裂が発生していた。接着力が低下したり，亀裂発生などにより CLT のラミナ間で時間経過とともに弱層が発生すると，そこに地盤よりもせん断抵抗が小さな層ができ，すべりが発生しやすくなる可能性がある。長期的な地盤中や水中における CLT の接着力のせん断特性や亀裂の影響を把握する必要がある。

3.4. 軟弱地盤上の仮設道路で CLT 水平補強を想定した圧密沈下に対する考え方

CLT 水平地盤補強は、板状の層を軟弱地盤の表層に敷設するもので、盛土のすべり安定性の強化や、不同沈下の抑制には寄与すると考えられる。一方で、前述の表-4 に示した工法は、共通して圧密沈下量の抑制にはほとんど寄与しないと考えられ、圧密沈下は生じるものとして計画を立てる必要がある。

沈下量や沈下終了時期を予測するには、想定される盛土の帯状荷重が作用したときの、一般的な圧密計算を行う。ここで、CLT は水浸状態における飽和密度より静水圧による浮力を差し引いた値を用いる。

3.5. 軟弱地盤上の仮設道路で CLT 水平補強を想定した CLT の劣化に対する考え方

木材は、地下水以深では、生物劣化に必要な酸素が不足するので、生物劣化は進行しない²²⁾。特に、仮設道路のような短期的な使用では、全く生物劣化は生じないと言える²³⁾。地盤中の地下水位が浅であっても、地盤の毛管力により、地盤内は自由地下水位面よりも浅い位置まで飽和状態になっている。この深度以深までは、実状地下水以深と同等に生物劣化は生じないと考えられる。

また、地下水位が浅であっても、地盤内に木材があり、通気性の低い土質に覆われ大気と遮断された環境であれば、少なくとも 10 年程度は生物劣化の進行は著しく遅く、仮設道路のような短期的な使用においては、生物劣化は実状生じないと言える²⁴⁾。

一方、木材が地表より突出していたり、地表に位置するような場合は、数年程度から生物劣化が激しく生じるようになり、5～10 年経過後には原形を留めないほどに劣化してしまう²²⁾²⁵⁾。

次章に示す CLT 水平地盤補強の実証実験では、1.8 年間地下水位の変動域内にあった CLT に全く生物劣化は認められず、力学的な特性も何ら低下していないことが確認されている。

以上より、CLT 水平地盤補強は、生物劣化を抑制するための条件として以下が考えられる。

(1) 数年程度未満の短期間の仮設道路で使用する場合

- ・ CLT は、含水比の多い軟弱地盤に直接接するよう敷設する。
- ・ CLT を敷設後、CLT が大気と触れないように、十分地盤材料で覆う。
- ・ CLT を覆う土は、通気性の低い（透水性の低い）粒度配合のよいものを使い、地盤に発生した亀裂などが CLT に及ばないように十分な締固めを行う。

(2) 数年以上の中期間仮設道路で使用する場合

- ・ CLT は、基本的に地下水位以深に敷設する。この時、地下水位は、毛管水頭も考慮する。
- ・ CLT は、含水比が多く飽和状態の軟弱地盤に直接接するよう敷設する。飽和状態と考えられる地盤が表層にない場合は、多少表層地盤を掘り込み、CLT が飽和地盤に直接触れるようにする。
- ・ CLT 上部に造成する盛土材は、通気性の低い（透水性の低い）材料を使用し、CLT が大気と接触しないように十分締固めを行う。

3.6. CLT 水平地盤補強の適用範囲

以上および次章の実証実験を踏まえて、現状における CLT 水平地盤補強の適用範囲として以下が考えられる。

3.6.1. 地盤条件

- ・対象地盤は、基本的に含水率の高い軟弱地盤であること。
- ・対象地盤は、特に数年以上の長期に使用する場合は、地下水位が浅い地盤で、CLT が基本的に地下水以深に設置できること。この時の地下水位面は、地盤の毛管水頭も考慮した飽和地盤以深と考えてもよい。
- ・対象地盤は、設置期間が数年程度未満であれば地下水位以浅での使用も可能であるが、この場合は、盛土材などで CLT を確実に大気から遮断させる必要がある。
- ・CLT の直上に造成される盛土材料は、通気性（透水性）の低い材料で十分な締めが行われること。細粒分を含まない礫質材を用いる場合は、使用期間が短期間である場合を除き CLT は確実に地下水位以深に敷設する。
- ・盛土高さは、実証実験の実績を参考に 1.5 m 程度以下とする。

3.6.2. CLT の仕様

- ・CLT の長さは、盛土幅や延長などを考えると、可能な限り長いものが設計上は有利である。一方、運搬性や CLT に歩留まりは、コストに影響を与えるので、一度に大量に運搬でき、歩留まりの高い長さを設定する必要がある。
- ・CLT の幅は、全面的に敷設する場合は、幅が広い方が施工速度も上がり有利であるが、運搬性や歩留まりも考慮して適切な幅にする。
- ・CLT の厚さは、前述の表-7 に示したせん断の基準強度による設計計算により決められるが、実証実験で用いられた 3 層 3 プライ（スギ、厚さ 90 mm）は、扱いも容易で設計上も仕様を満足した。これよりも層数の多いものは、小規模の盛土に使うには、オーバースペックになる可能性がある。
- ・樹種や品質のレベルについても、特に設ける制限は考えられないが、それぞれの樹種に応じた仕様を用いる。

3.6.3. 施工条件

施工条件は、あまり制限がないが、以下を考える必要がある。

- ・施工現場では、搬入する CLT の大きさに応じた CLT の仮置きスペース、搬入路が必要になる。
- ・CLT は、クレーンで CLT を吊り上げ荷卸しおよび敷設を行う場合は、十分な支持力がある基盤が必要になる。また、風の強い日には使用ができない。
- ・CLT を地下水位以深に敷設する時に、釜場排水などにより地下水位を下げる必要があるため、その場合は排水環境を整える必要がある。
- ・盛土の路線が回転半径の小さい曲線形状をしている場合は、CLT をそのままでは敷設しにくいので、工夫が必要となる。

3.7. 想定される適用例

3.7.1. 盛土厚が小さい仮設道路等への適用

アメリカの Rig Mat Cores において、CLT を敷き鉄板のように軟弱地盤に敷設し仮設道路とした事例¹⁴⁾や、CLT を敷き鉄板の代用として工事現場で使用した事例²⁰⁾で、トラックやバックホウが問題なく走行できていることを参考にすれば、CLT の荷重分散効果が、敷き鉄板と同様にあることが理解できる。

これらを参考に、少なくとも仮設道路のような短期で、厚さが小さい軟弱地盤上の盛土や歩道への本工法の適用が可能であると考えられる。本工法を用いれば、施工が速く、特殊な機械を使用しないので、大きな利点である。在庫を確保していれば、特に、災害時には有効だと考えられる。

このような適用を考えた場合、CLT は使用期間中に十分健全性を保つと考えられ、走行に伴う CLT 自体への損傷は発生しないと考えられるので、使用後は掘出して CLT の再使用が可能である。燃料利用や加工を行う場合に、CLT の土砂のめり込みが気になることが考えられるが、CLT 表面に保護のために 5 mm 程度のベニアなどを張り付けておくとういと考えられる。

3.7.2. 歩道や道路などの凍上対策

盛土厚の小さい歩道や道路への適用が考えられるが、さらに木材の熱伝導率が低いという特徴を活かすと、CLT の全面敷設による軟弱地盤の凍土対策が考えられる。凍上が想定される地盤では、凍上しにくい材料への置換や断熱材の使用が実施されるが、CLT を用いることで断熱材を代替するとともに、使用する置換材厚さの低減効果が期待できる。

3.7.3. 敷き鉄板の代用

さらに、CLT を 0.3 m 程度以上の厚さの砂礫や舗装で覆い、敷き鉄板の代用として使用することが考えられる。例えば、軟弱地盤上のヤードや運搬道路への適用が考えられる。表層に敷き詰めた砂礫が CLT を保護し、現在 CLT の敷板で課題となっている CLT の損傷を防止し、CLT の転用回数を劇的に増加することが期待される。

4. 軟弱地盤上の盛土の CLT 水平補強による軟弱地盤対策実証実験

4.1. 実験概要

CLT 水平地盤補強を実施することで、軟弱地盤上の盛土のすべり安定性の強化や不同沈下抑制を短時間に容易に施工できることが期待できると考えた。そこで、以下を検討することを目的に、実証実験を実施した。

- a) 地盤の不同沈下の抑制効果
- b) 地盤のすべり安定性の向上効果
- c) 数年経過後の CLT の健全性
- d) 施工性
- e) コスト

実験は、軟弱地盤上の農業用道路を想定し、表土の除去と、CLT を気中に晒さない目的で、地盤表面を GL-0.5 m まで掘削し、そこに直接 CLT を水平に敷設し、その後、1.5 m の盛土（地表面からは 1.0 m）を造成した。図-11 に、造成した盛土の断面と、CLT の敷設位置を示す。図中には、载荷したトン袋も併記した。盛土の規模は、土地改良事業計画設計規準²⁷⁾の 2.0 車線農道（幅員 5.5 m(内歩道 0.7 m+0.7 m)⇒4.1 m）を参考に、盛土天端幅 4.9 m×長さ 10.65 m、盛土法勾配 1:1 とした。

図-12 に、実験全体の平面配置図を示す。盛土を 4 面造成し、CLT の敷設方法の異なる 3 ケースと、CLT を敷設しない無対策のケースを実施した。図中には、後述する動態観測用の測量杭の位置、トン袋の位置、電気式コーン貫入試験の実施位置、大型载荷試験のスラブ設置位置、百葉箱と地下水位観測井の位置も併記した。

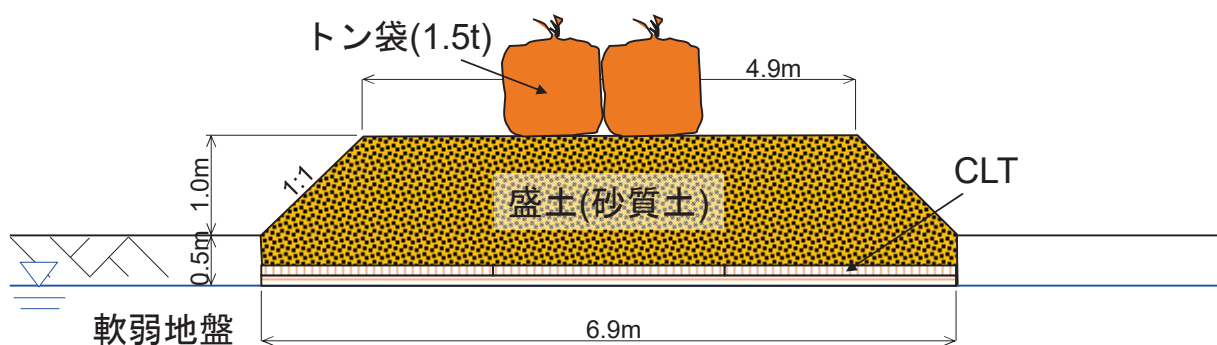


図-11 実験で造成した盛土断面

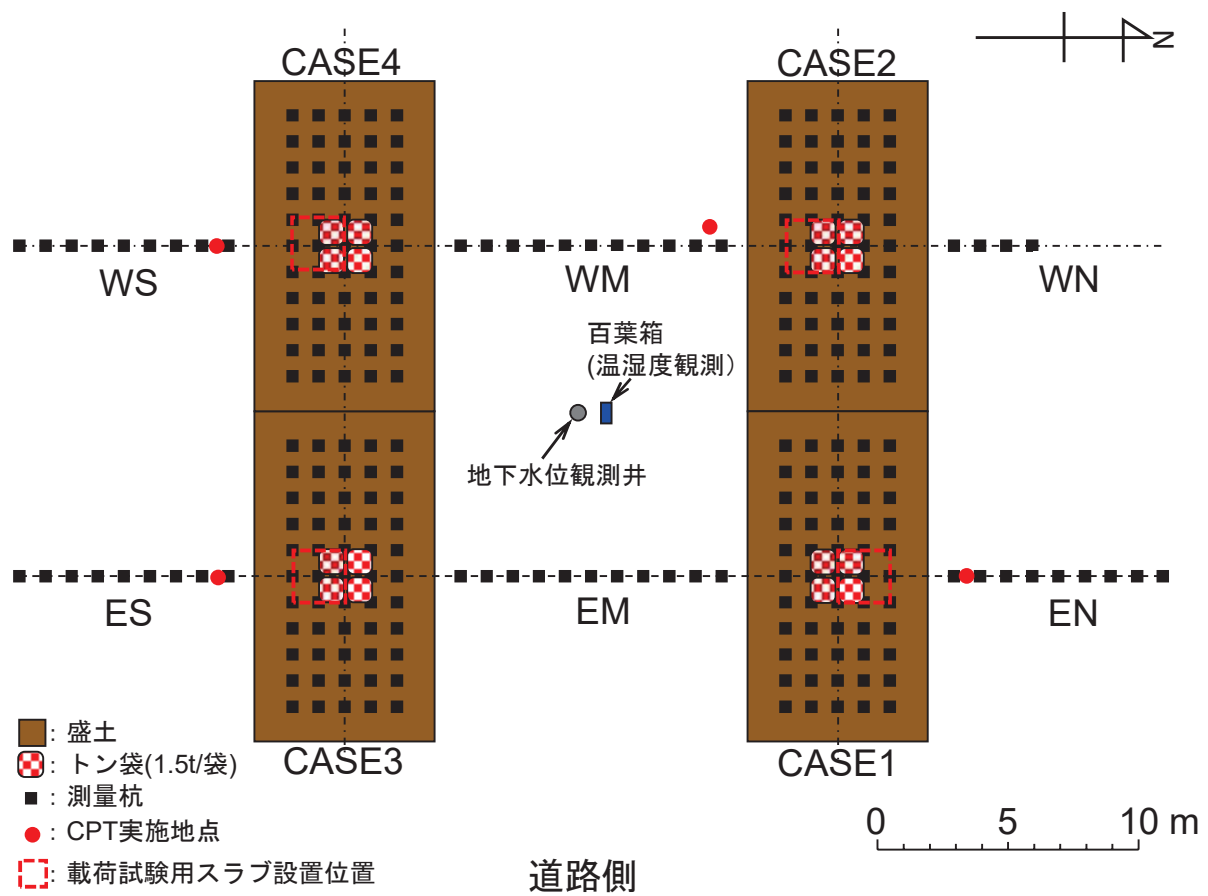


図-12 実験全体平面配置図

4.2. 実験方法

4.2.1. 実験場所

実験は、秋田県大潟村で実施した。図-13に、実験実施場所を示す。この地点は、旧八郎潟があった場所で、約1万年の時間をかけて誕生した水深4～5mの汽水湖（八郎潟）を1957（昭和32）年から始まった「八郎潟干拓事業」により、水が排水され、1977（昭和52）年に17,229 haの新しい大地が生み出された²⁸⁾ところである。このため、地盤は極めて軟弱で、水平成層構造かつ均質と考えられる。そこで、大規模な軟弱地盤対策の実大試験場所として適切と考え、この地で実験を計画した。

4.2.2. 実験ケース

実験は、CLTの敷設方法を3種類行うとともに、CLTを敷設しない無対策のケースを行い、比較を行った。図-14に、CLTを敷設した実験ケースを示す。図中の記号は、各CLTの番号と各CLTの面を示す。各ケースのCLTの敷設方法は、以下の通りである。

CASE1：井桁状(固定なし)、CLT2段

CASE2：井桁状(固定あり)、CLT2段

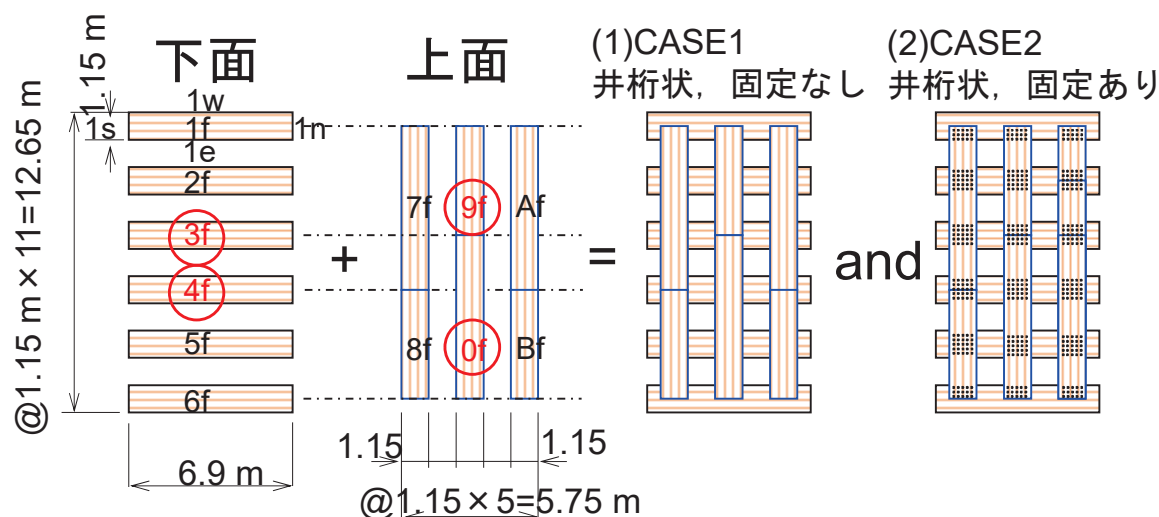
CASE3：面状(固定なし)、CLT2段

CASE4：無対策

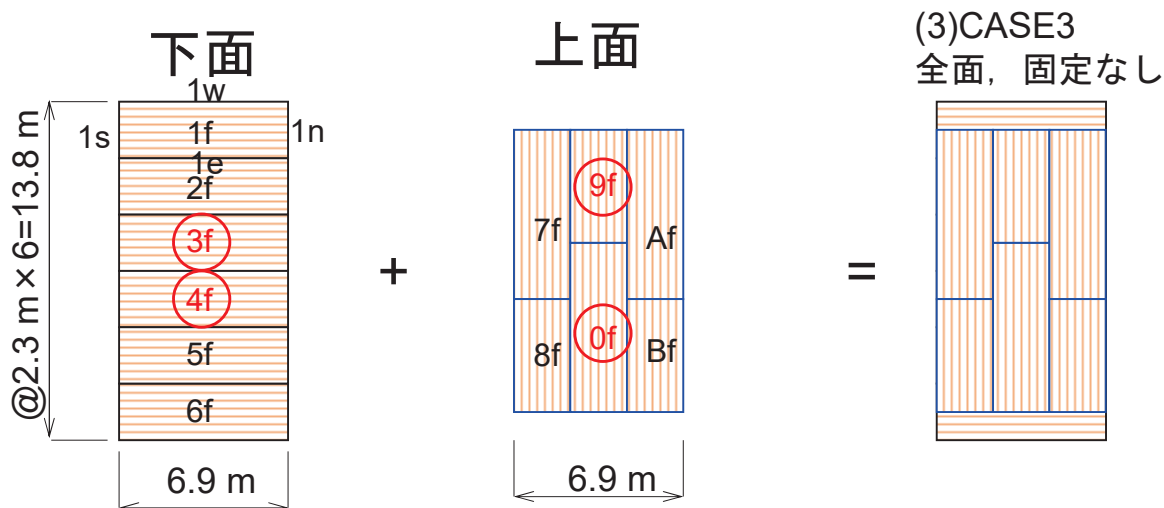
CASE3は、単純にCLTの強軸方向が直交するように上段と下段の2段を全面にCLTを敷設したものである。CLTを全面に敷設すると、過剰な仕様になると想定されたので、CLT量を減らす目的で、CLT使用量を半分にし、間隔をあけて井桁状に敷設したものがCASE1とCASE2である。盛土のすべり安定性を考えたとき、偏荷重により水平方向のせん断力が増加するので、上段と下段の間で、CLT同士がすべり出し、そこが弱点となることが想定されたので、CASE2は、CLTのそれぞれの交点に、孔径19mmの孔をあけ、そこに径19mmの丸鋼を24本打ち込み、上下段を固定した。



図-13 実験実施場所（Google マップに加筆）



(a)CASE1 と CASE2 における CLT の配置



(b)CASE3 における CLT の配置

図-14 実験ケース

4.2.3. 実験手順

実験は、軟弱地盤を 0.5 m 掘り込み、表土を剥ぎ、そこに CLT を 3 ケースの方法で敷設し、そこに 1.5 m の良質な砂礫材による盛土を造成した。盛土造成後、トン袋を載荷し動態観測を行った。盛土造成から 8.1 ヶ月後には、盛土の安定性を検討するために、一度トン袋を取り除き、盛土天端に偏荷重を載荷する大型載荷試験を実施した。さらに 1.8 年後には、盛土を撤去し、CLT を掘出しその健全性を調査した。

盛土造成に伴う CLT 敷設の施工手順を以下に示す。括弧内には、使用機械と対象となる実験ケースを示した。写真-7 に、盛土造成の状況を手順に沿って示す。

- ① 表土を剥ぐ（バックホウ：コマツ PC200）
- ② 地盤を 0.5 m 掘り込む（PC200）
- ③ CLT を搬入する（22 t トレーラー，ラフタークレーン加藤製作所：SR-250R）
- ④ 下段 CLT の敷設（SR-250R）（CASE1～3）
- ⑤ CLT 間に砂を投入（SR-250R）（CASE1～2）
- ⑥ 砂の締固め（パイブロプレート）（CASE1～2）
- ⑦ 上段 CLT の敷設（SR-250R）（CASE1～3）
- ⑧ CLT 固定のための，ラグスクリューによる仮止め，ドリルによる孔開けと丸鋼の打ち込み（CASE2）
- ⑨ CLT 間に砂の投入（SR-250R）とタンパーによる砂の締固め（CASE1～2）
- ⑩ 盛土材の投入と締固めによる盛土の造成（10t ダンプトラック，PC200）
- ⑪ 盛土天端と周辺地盤に動態観測用の測量杭を設置
- ⑫ 測量杭の初期値を計測
- ⑬ 盛土天端中央にトン袋（1.5 t/袋×4 袋）設置



(a)地盤の掘削状況



(b)CLT の搬入状況



(c)CLT の敷設状況



(d)盛土材の投入状況

写真-7 盛土造成の施工状況 (その1)



(e)バックホウによる盛土の転



(f)トン袋の設置状況

写真-7 盛土造成の施工状況（その2）

4.2.4. 使用した CLT

使用した CLT の仕様は、以下の通りである。

- ・層数：3 層 3 プライ
- ・樹種：スギ
- ・種別：Mx60
- ・接着剤：水性高分子イソシアネート系接着剤
- ・はば剥ぎ接着：なし
- ・寸法：
6.9m×1.15m×0.09m (18 枚=9 枚×2 ケース)
4.6m×1.15m×0.09m (6 枚=3 枚×2 ケース)
6.9m×2.3m×0.09m (9 枚)
4.6m×2.3m×0.09m (3 枚)

なお、各 CLT の裏面にはメネジが切ってあるプレートが 4 ヶ所に埋め込まれ、表面よりアイボルトを固定可能である。このアイボルトを使って CLT を 4 点吊り可能である。

4.2.5. 動態観測

盛土造成後、前出の図-12 に示したように、盛土天端および盛土周辺地盤に測量杭を 1 m 間隔に設置し、これを測量し、沈下量 (Z 方向)、水平変位量 (NS 方向、EW 方向) を定期的に計測した。測量は、盛土造成後を初期値とし、その後、不同沈下を誘発するように、盛土天端中央部のみに 1.5 t/袋のトン袋を 4 袋載荷 (合計 6 t) した。その直後に、再度測量杭を測量し、その後定期的に測量し、沈下量と水平変位量を求めた。

4.2.6. 大型載荷試験

盛土造成から 8.3 ヶ月後に、盛土上のトン袋を一時的に撤去し、すべり安定性を検討するために大型載荷試験を実施した。

図-15 に、大型載荷試験の概略図を示す。のり面の片側方向にすべりが発生するように、盛土の中心線から一方にずれた位置に、2.0 m×2.0 m×0.5 m の RC スラブを作製し、その上に一枚の重量が 7.86 kN (0.80 tf) または 15.72 kN (1.60 tf) の敷き鉄板を積み重ね、偏荷重を載荷し、すべり破壊を誘発させることを考えた。写真-8 に、大型載荷試験の様子を示す。スラブの側面の 6 個所に標尺を張り付け、それを遠方よりレベルで読み取り、沈下量を計測した。載荷は、123 kN の予備載荷を行い、これを除荷した後、沈下量の初期値を設定し、そこから約 1 時間ごとに 1 段載荷し、全部で 9 段階の載荷を行った。途中一晩放置し、2 日目に最終段階まで載荷し、その後除荷した。9 段階目の最大の荷重は、1,085.5 kN (110.76 tf)、271.4 kN/m² であった。沈下量は、各段階で所定の枚数の敷き鉄板を載荷後、0、5、10、20、30 分後に計測した。

図中には、安全対策用のフレームも併記した。大型載荷試験を行うにあたり、盛土に大きなすべりが発生した場合、スラブが傾き敷き鉄板がすべり出すと考えられたので、200 mm の鋼材でフレームを組み、所定の沈下量を超えた時には、フレで敷き鉄板を支える構造とした。

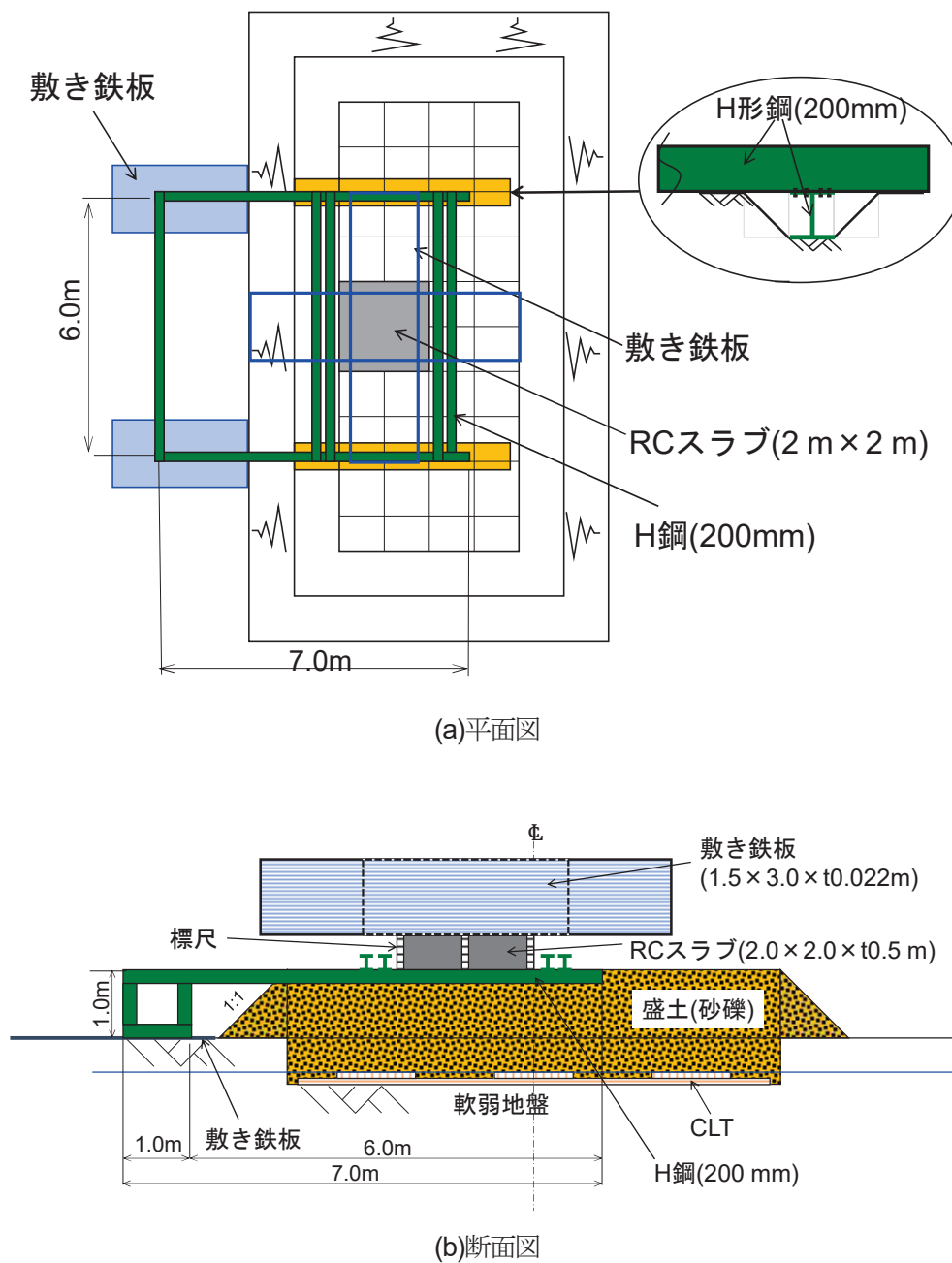


図-15 大型載荷試験概略図



写真-8 大型載荷試験の様子

4.2.7. CLT 掘り出しによる健全性調査

盛土造成から 1.8 年経過後に、CLT の健全性を調査した。調査は、各測量杭の測量を実施後、盛土を撤去し、高圧洗浄機で CLT 表面を洗浄し、最初に敷設された状態で CLT を観察した。次に、CLT をクレーンまたはバックホウで吊り上げ、所定の位置に移動し、CLT の表面と裏面を高圧洗浄した。この状態で目視観察を行い、その後、図-14 に示した赤丸印の CLT のそれぞれ 6 面について、亀裂発生位置と亀裂長さを計測した。なお、亀裂は、現地にて CLT の表面に透明のシートを被せ亀裂をトレースし、そのシートを室内に持ち帰り、再確認できるようにした。

その後、CASE1 と CASE3 の全数の CLT については、現地で CLT の中央部分より 0.3m×2.07m の試験体を切り出し、水中にて約 3 ヶ月間保管後、JAS 3079 直交集成坂の曲げ試験に準拠し、4 点曲げ試験を実施し、曲げヤング係数と曲げ強さを求めた。

なお、盛土を撤去し、CLT を掘出した時期は、ほぼ毎日猛烈な厚さで、掘出し直後は湿った状態であった CLT が瞬く間に乾燥するので、できる限り散水し CLT を乾燥させないように努めた。しかしながら、夜間や別の作業中には散水ができず、気が付くと CLT 表面はかなり乾燥していた。

4.2.8. 調査項目

本実験を実施するにあたり、以下の調査を実施した。

- a) 調査地点の気温と温湿
- b) 調査地点の地下水位
- c) 調査地点近傍の降雨記録
- d) 各実験ケース地点における電気式コーン貫入試験（以下、「CPTU」と記す。JGS 1435-2012）
- e) 盛土造成後の盛土天端および周辺地盤の動態観測（沈下および水平変位量）
- f) 盛土の大型載荷試験
- g) 盛土材の大型三軸圧縮試験
- h) 盛土撤去後の CLT の目視観察（劣化および亀裂長さ計測）
- i) 盛土撤去後の CLT の曲げ試験（JAS 3079）

4.2.9. 温湿度観測

温湿度は、実験地点のほぼ中央の GL+1.5m の位置に百葉箱を設置し、その中に温湿度計（(株)ティアンドディ T & D 社製温度・湿度データロガー TR-72nw（おんどとり））を設置し、計測した。写真-9 に、百葉箱と地下水位観測位置の様子を示す。サンプリング周期は、10 分である。

4.2.10. 地下水位観測

地下水位観測も、実験地点のほぼ中央で実施した。地下水位観測は、GL-2m の 2 重管式の観測井を設置し、地下水位以深に吊るした水圧計と、百葉箱の中に設置した水圧計（応用地質(株)社製小型絶対圧水位計 S&DL Model-4900(10m 計)）のそれぞれの絶対圧を計測し、両者の圧力差より地下水位の変化を求めた。サンプリング周期は、1 時間である。合せて、近傍の気象庁大湊観測所の降雨記録を収集した。



写真-9 百葉箱（温湿度計測）と地下水位観測の様子

4.3. 実験地点の環境

4.3.1. 地盤概要

図-16に、実験地点から約20m離れた地点で求められた地盤柱状図を示す。地盤は、0.7mの表土があり、その下位にはN値が0の砂質粘土がGL-7.0mまであり、その下位にはN値が0～3のシルト質砂、砂質粘土、砂混じり粘土、粘土の軟弱な層がGL-20mまで続く。地盤調査実施地点で得られた地下水位は、GL-0.15mであった。

図-17に、各ケースの大型載荷試験実施位置で実施した電気式コーン貫入試験結果を示す。いずれの結果も、1m弱の表土部で補正先端抵抗がやや大きな値を示すが、それ以深からGL-7m付近まで、GL-3～4m付近にやや大きな抵抗を示す個所があり、それ以外は0に近い値を示す。したがって、CASE1～4の盛土を造成した地点は、特にGL-7mまでは、N値が0の極めて軟弱な地盤であり、各ケースの地盤の違いはほとんど認められない。

4.3.2. 気温と湿度

図-18に、盛土造成時から盛土撤去時にかけての1.8年間の温湿度観測結果を示す。それぞれの点は、日平均湿度、日最高気温、日平均気温、日最低気温である。

日平均湿度は、概ね60%以上であり、大きく乾燥状態となることはほとんどない。日平均気温は、0～25℃であるが、冬には最低気温が0℃以下となることが多く、夏には最高気温が30℃を上回り、特に、盛土を撤去しCLTを掘出した時期は、日最高気温が35℃を上回る猛暑日が続いた事がわかる。

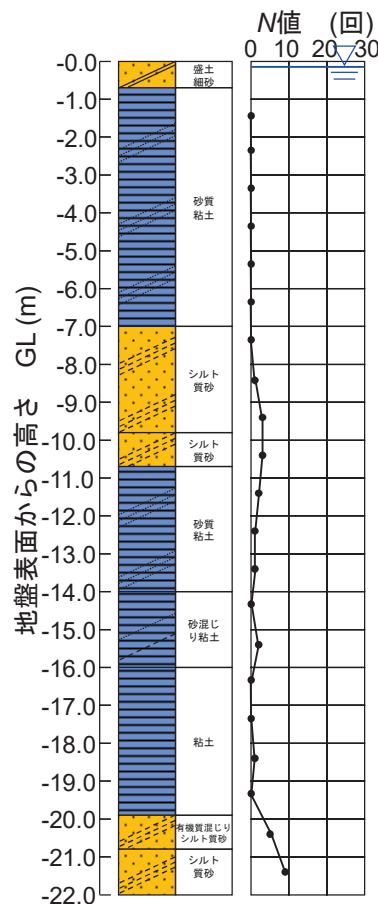


図-16 実験実施地点近傍の地盤柱状図

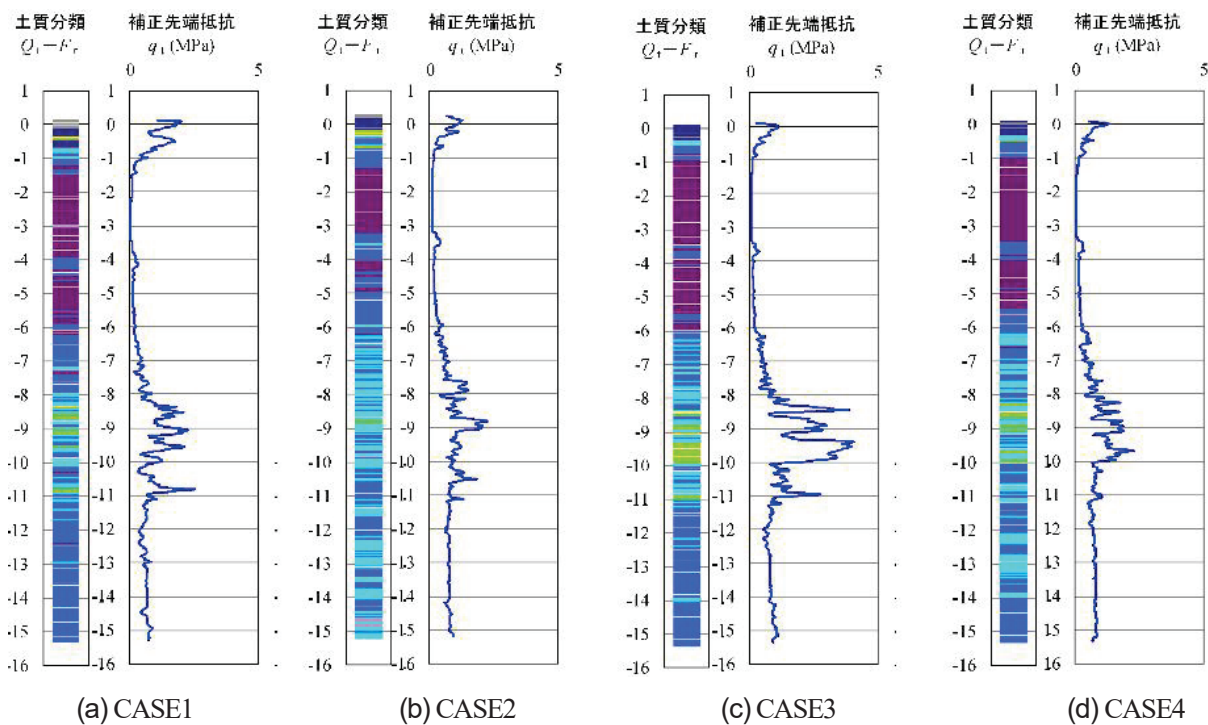


図-17 各ケースの地点における電気式コーン貫入試験結果

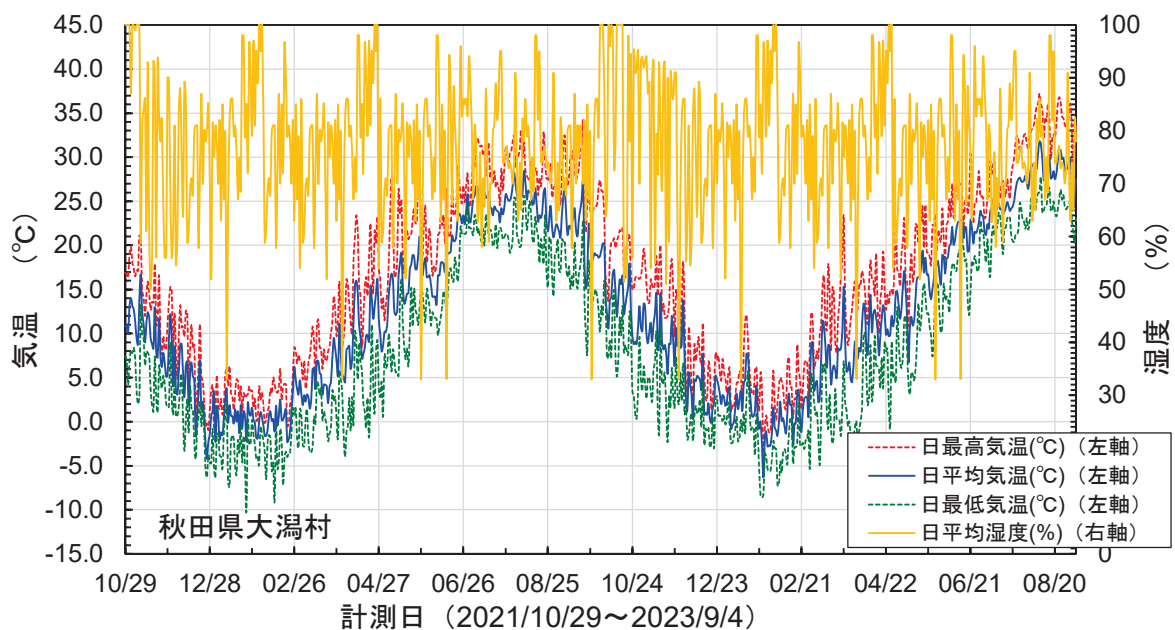


図-18 温湿度観測結果

4.3.3. 地下水位と日降雨量

図-19に、地下水位の日ごとの観測結果を示す。図中には、近傍の気象庁大湯観測所で観測された日降雨量を併記した。地下水位は、大きな降雨があるごとにGL0m以上に上昇しては直ちに低下し、一時期を除き、概ね地表面とGL-0.5mの間で変動していることがわかる。ただし、夏場には地下水位が長い期間GL-0.5m以深になることが多く、特に2年目にはGL-0.5m以深になっている期間が長い。なお、地下水位がGL0mよりも大きくなっているのは、観測井の塩ビ管が地表よりも1m程度突出しているため、降雨があり現地が水溜まりのような状

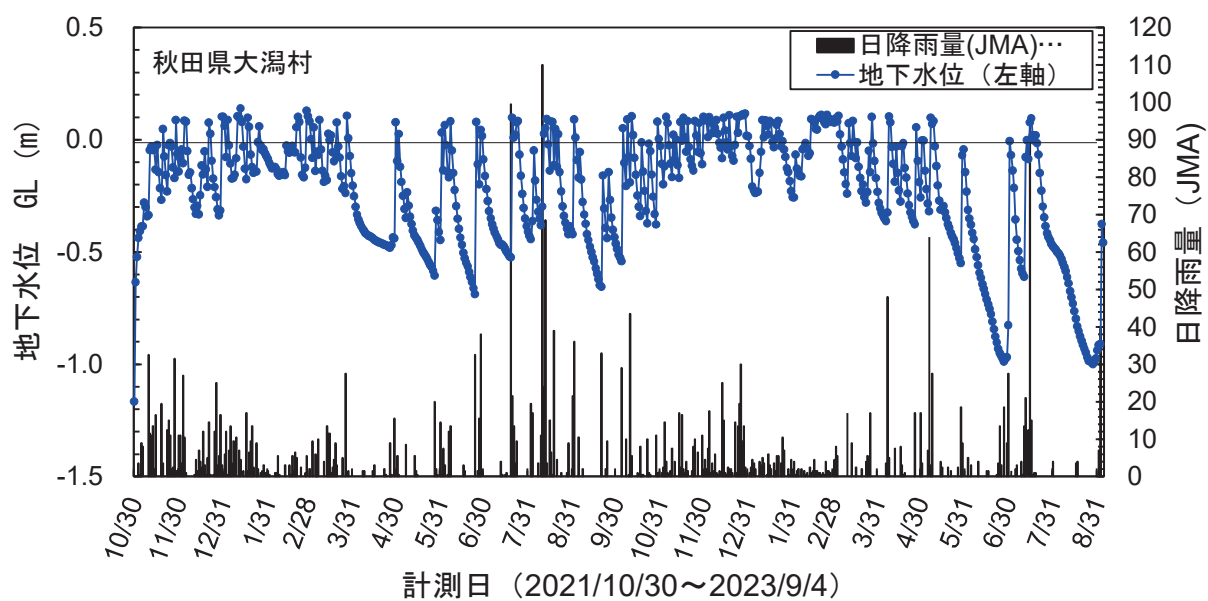


図-19 地下水位観測記録

態になると GL0 m 以上となる。

したがって、敷設された CLT は、地下水位変動域内にあり、冬期は地下水位以深である場合が多いが、夏期は地下水位以浅となっている期間が少なくない。

4.4. 動態観測結果

図-20 に、盛土天端の代表地点における沈下量の継時変化を示す。図中には、盛土天端における標点の位置と代表点（赤丸印）の位置も併記した。盛土造成後の、1 日後、1 ヶ月後、5.5 ヶ月後に、測量杭の測量を行った。後述の大型載荷試験は盛土造成後 8.3 ヶ月後に実施し、盛土の撤去は 1.8 年後に実施している。大型載荷試験時に、測量杭を一時的に撤去した個所が多く、また、重機の移動で測量杭が動いてしまったものが多い。載荷試験後、測量杭を設置し直しているため、5.5 ヶ月後と 8.3 ヶ月後は不連続である。なお、水平変位は、ばらつきが大きく、傾向を捉えられなかったため、ここでは省略する。

載荷試験前の 5.5 ヶ月（166 日）までは、全般的に無対策の CASE4 よりも、CLT を敷設した CASE1～3 の方が沈下量が小さい傾向があり、CLT の敷設により若干の沈下抑制効果が認められる。しかしながら、その差は必ずしも大きくはなく、また、部分的に無対策よりも CLT を敷設した方が大きな沈下量となったところもあり、CLT の敷設が沈下の抑制に大きな効果があるとはいえない。これは、CLT を板状に水平に設置するので、CLT を設置しても、盛土荷重は、無対策地盤と同様に軟弱地盤に伝達されるので、絶対沈下量の抑制には効果を上げにくいからだと考えられる。

CLT の敷設方法の違いによる影響は、CLT を全面に敷設した CASE3 が、井桁状の CASE1 や CASE2 より大きな沈下量になっているが、CASE2 と同等となり、全体的に井桁状で固定のない CASE1 が小さな沈下量となっている。絶対沈下量はどのケースも発生すると考えると、これらはむしろ全体的にほとんど差がないと言った方がよい。なお、CASE1 の C11 の点では沈下がほとんど発生しなかった。この原因は、不明であるが、この地点は CASE1 と 2 のアプローチ部であったので、それが何らかの影響した可能性が考えられる。

図-21 に、盛土造成から 5.5 ヶ月後の沈下量のヒートマップを示す。(a)は絶対沈下量、(b)は相対沈下量を示す。相対沈下量は、盛土天端においては、それぞれのケースにおける盛土沈下量の平均値との差、盛土周辺地盤にお

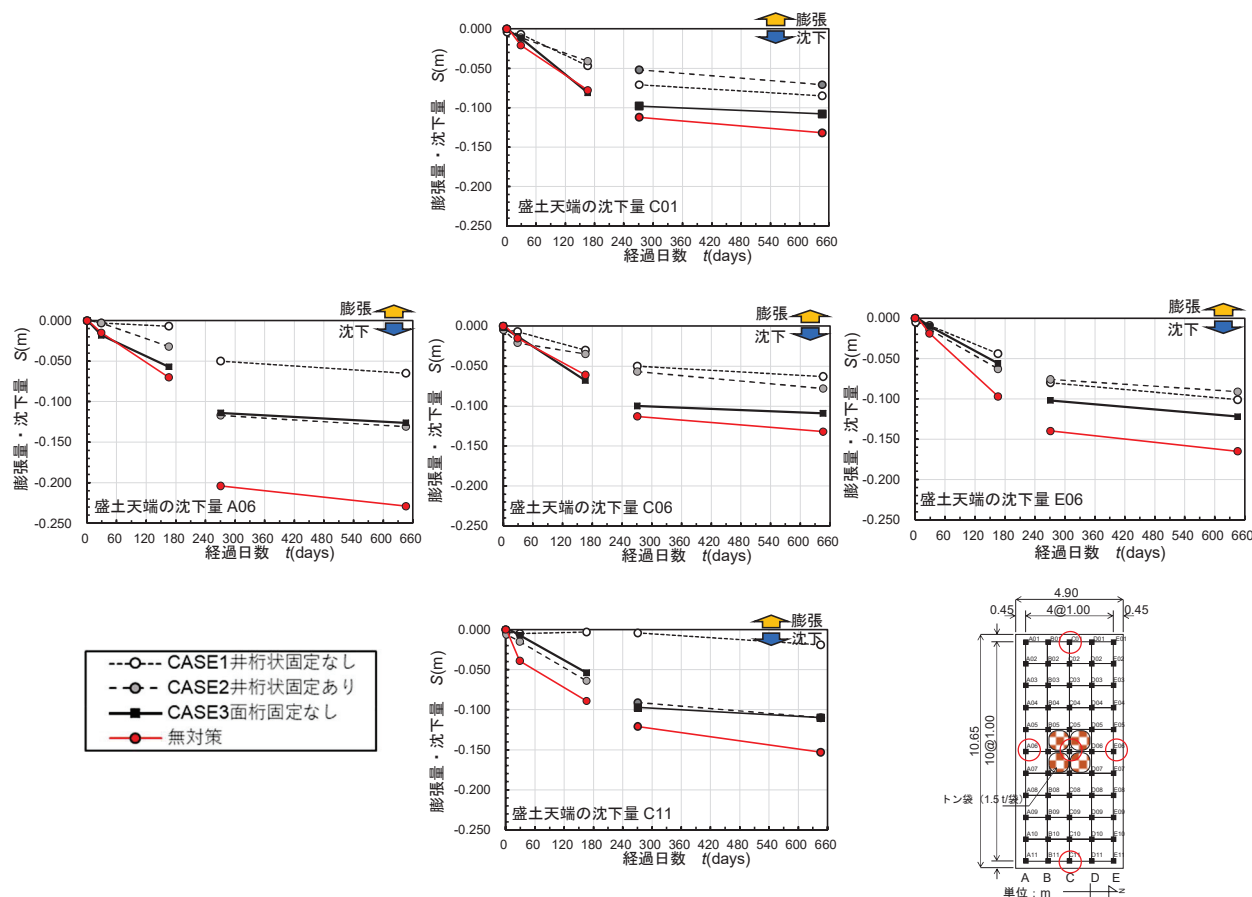
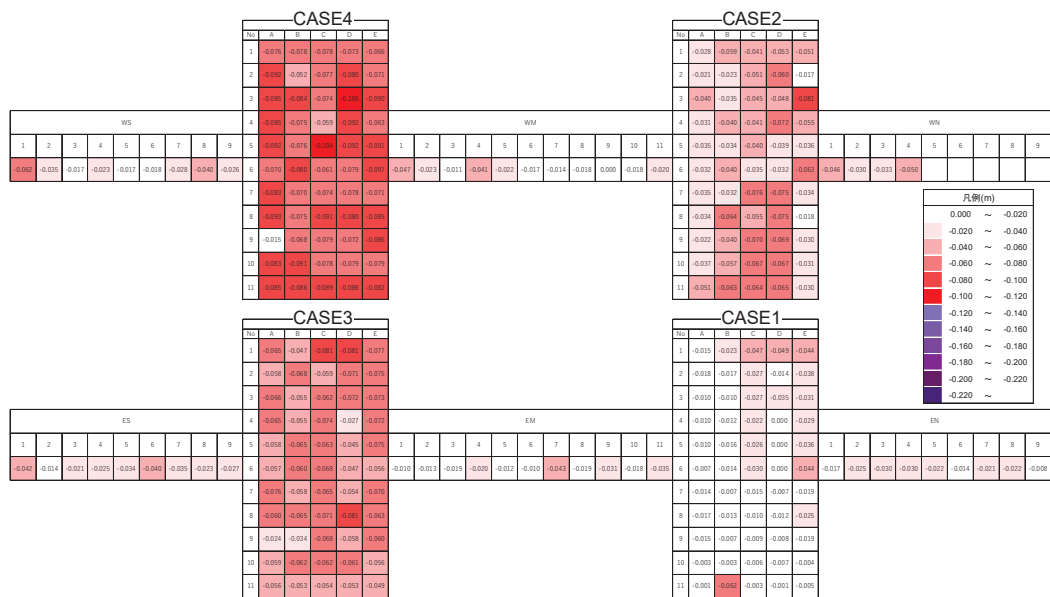
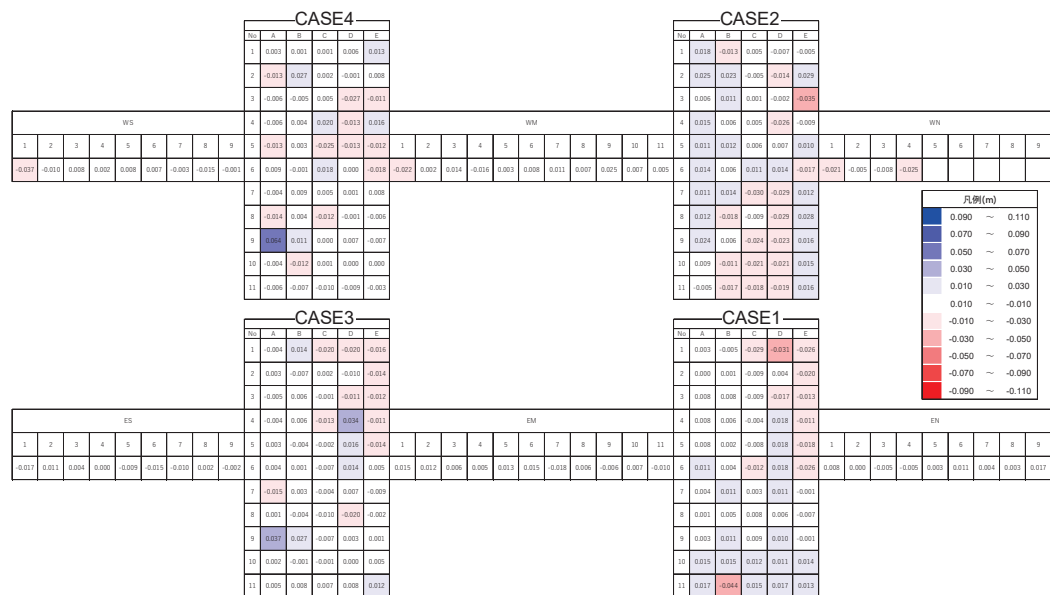


図-20 盛土天端沈下量の継時変化



(a)絶対沈下量



(b)相対沈下量

図-21 5.5 ヶ月後の沈下量のヒートマップ

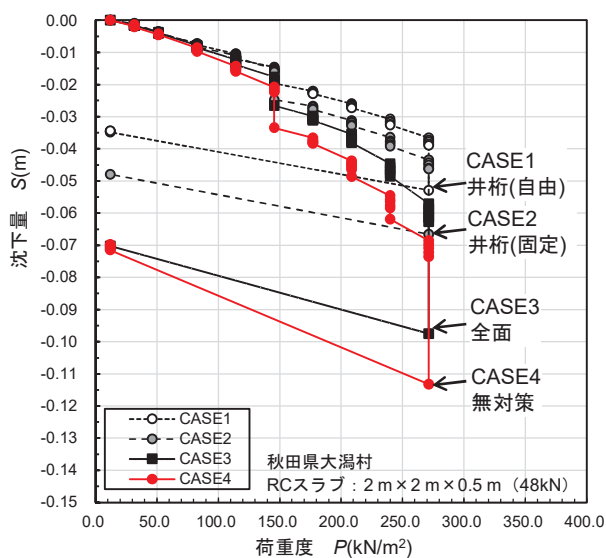
いては、周辺地盤全体の平均値との差である。絶対沈下量は、CASE4 で大きく、次いで CASE3, CASE2 となっている。

前述の通り、絶対沈下量は板状の CLT が敷設されてもその効果をあまり期待できない可能性がある。一方、盛土下端面に板状の CLT があれば、不同沈下を抑制する可能性が期待できる。それぞれのケースの盛土中央部には、トン袋を 4 袋 (6t) 設置しており、中央付近が他と比べ大きく沈込む形状の相対沈下を予想した。しかしながら、相対沈下量にも、全体的に明瞭な関係は認められなかった。この理由として、盛土が良質な礫質材料で 1.5 m の厚さで造成されており、CLT 以上に、これによる荷重の分散効果が大きかったので、無対策を含めたそれぞれのケースの差が現れなかったものと考えられる。したがって、CLT の効果が特に期待できるのは、盛土厚さが薄い時だと想定される。

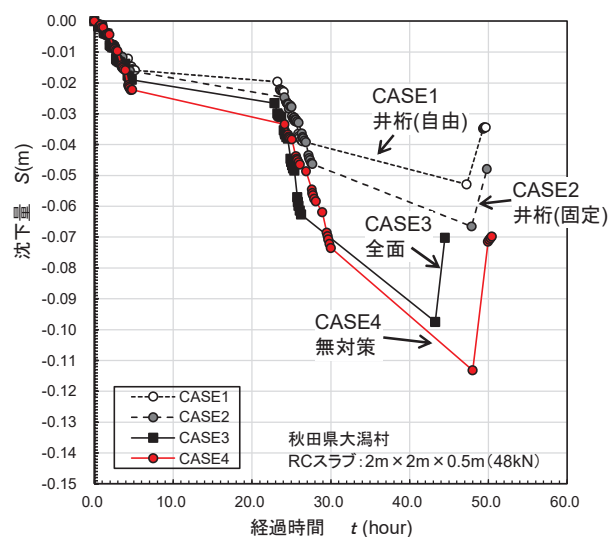
4.5. 大型載荷試験結果

図-22 に、大型載荷試験の結果を示す。荷重には、スラブの質量も含めている。敷き鉄板による荷重は、最大 1,085.5 kN (271.4 kN/m²) を載荷したが、いずれのケースも極限荷重に至らなかった。2次元の円弧すべり計算で安全率が 1.0 となる上載荷重は、無対策の場合で 76 kN/m² であり、載荷試験ではその 3.5 倍以上を載荷したことになる。図中、経過時間が 10 時間以上と長くなっている個所があるが、これは載荷したまま一晩放置したためである。経過時間と沈下量の関係からもわかるように、荷重が大きくなった段階では、1 時間経過後も沈下は収まっておらず、沈下量には圧密沈下量も含まれている。

沈下量は、CASE4 の無対策が大きいが、他と比べて極端に大きいわけではなく、次ぐ全面 (CASE3) に近く、井桁固定 (CASE2)、井桁自由 (CASE1) の順に小さくなり、全面 (CASE3) が井桁よりも大きな沈下量となった。ただし、無対策を含め、いずれも極限荷重には至らず、加えて、全体的にほぼ同じような沈下量となったのは、盛土のすべり抵抗が大きく、また、三次元的な効果が大きかったため、想定より大きな荷重が必要となったと考えられる。以上のように、CLT を敷設することで、今回の荷重の範囲内では、マイナス要因になるようなことは認められなかったが、すべり安定性を明らかに増加させる効果は確認できなかった。



(a) 荷重と沈下量の関係



(b) 経過時間と沈下量の関係

図-22 大型載荷試験結果

4.6. 1.8 年経過後の CLT の健全性評価結果

4.6.1. 目視観察による劣化度調査

盛土造成から 1.8 年経過後に、盛土を撤去し CLT を掘出し健全性の調査を実施した。なお、CASE2 の交点で固定した CLT は、固定の緩みなどは認められず、むしろ固定度が高く、容易に CLT を分離することができなく、固定方法は良好だった。そこで、交点の脇で CLT の 4 面をチェーンソーで切断し、細かく分離して CLT を掘出した。このため、CASE2 は、亀裂調査と曲げ試験を実施していない。

写真-10 に、CASE1～3 で掘出した CLT の様子を示す。CASE2 は、敷設したままの状態である。1.8 年経過後の CLT は、一部バックホウのバケットでひっかいた傷などが認められたが、腐朽や蟻害などによる劣化は全く認められず、健全な状態であった。CLT は、地下水位変動域内にあり、常時地下水位以深にあったわけではないが、盛土下部かつ地下水位の変動域内にあり、空気が少ない環境である地盤内にあったため、腐朽や蟻害による生物劣化が生じなかったと考えられる。



写真-10 1.8 年経過後掘出した CLT 表面の状況

4.6.2. 亀裂の発生

過去の木杭の掘出し調査では、採取された丸太の亀裂が気になった経験がない。また、本実験における CLT は、1.5m とはいえ盛土荷重を受けた拘束下にある。さらに、CLT は、地下水位変動域内の湿潤状態の環境あり、乾燥状態から膨潤すると考えられる。このため、CLT にはラミナ内の亀裂や接着層の剥離は発生しないと予測していた。しかしながら、生物劣化は認められなかったが、亀裂や剥離が確認された。そこで、亀裂や剥離の発生位置と長さを調査した。

ラミナ内や接着面で発生する亀裂や剥離は、CLT の強軸方向側面と弱軸方向側面で、明らかに異なる傾向が認められた。図-23 に、CASE1 と CASE3 について、ラミナ内に発生した亀裂と、接着面で発生した剥離について、CLT の表裏面、長軸方向側面、弱軸方向側面に分けて、それぞれで発生した亀裂長さ、または、剥離長さの総延長を示す。剥離には、接着力の低下により接着面がきれいに剥がれるものや、内部応力の発生などにより力学的に剥がれるものが考えられたが、分離することが難しかったので、ここでは両者を合わせて剥離と定義した。亀裂と剥離の発生位置は、弱軸方向側面で多く発生していることがわかる。ただし、CLT 表面は全体面積が大きく、また、長軸方向側面も弱軸方向側面より長く、弱軸方向側面は、全面の CASE3 の方が井桁状の CASE1 よりも長いのでこれらを補正する必要がある。そこで、対象としている面の面積や、対象としている接触面の長さの影響を受けないように、それぞれ計測した面または接触面の、総面積、または、総延長で、計測した亀裂延長、または、剥離延長を除いて検討を行った。これにより、面積の大きい表面と裏面での亀裂は、相対的にかなり少なくなり、これらの面での亀裂は、ほぼ認められないと言ってよい。

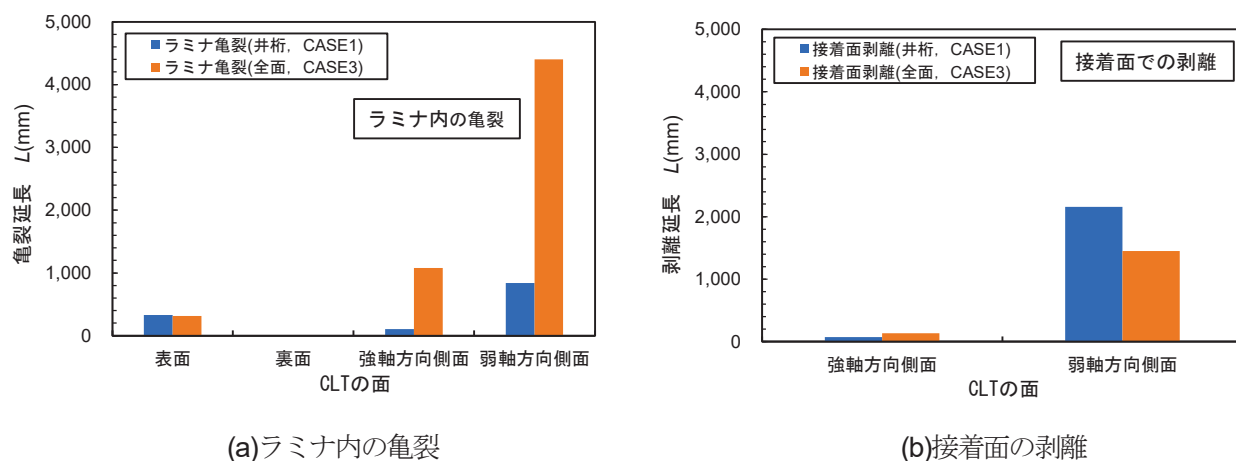


図-23 ラミナ内の亀裂と接着面における剥離

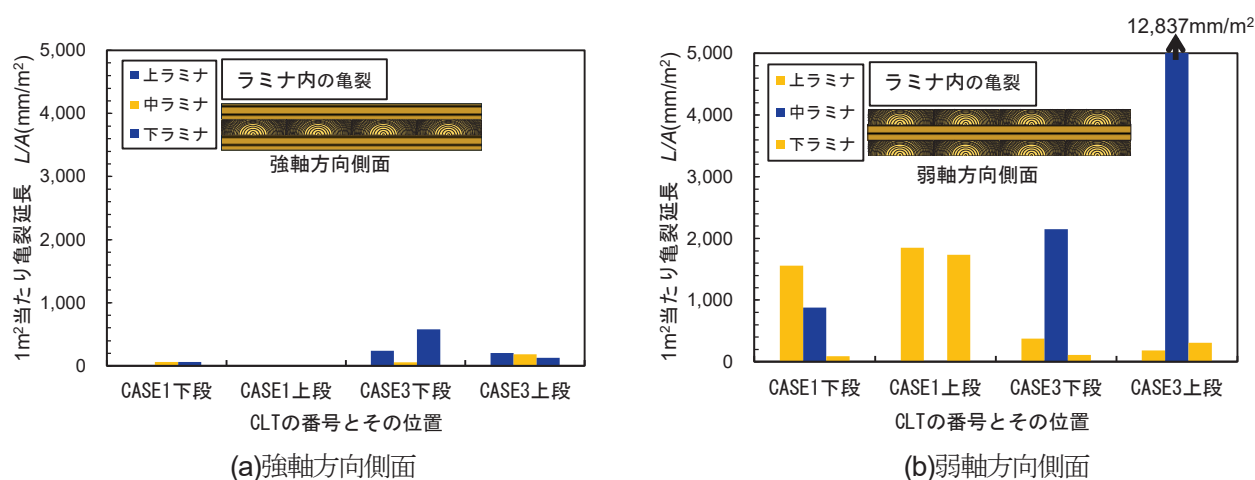


図-24 ラミナ内で発生した亀裂の発生状況 (1 m² 当たり発生した亀裂長さ)

図-24 に、CLT 長軸方向側面と、CLT 弱軸方向側面に分けて、上・中・下層の各ラミナの中での面積 1 m² 当たり発生した亀裂長さを示す。ラミナ内の亀裂は、弱軸方向側面に多く、中ラミナの亀裂長さが長いときには上下ラミナの亀裂長が短く、逆に上下ラミナの亀裂長が長い時には中ラミナの亀裂長が短いことがわかる。

写真-11 に、CLT 弱軸方向側面の様子を示す。中央のラミナは変形量が少なく接着面も剥がれていない。上下のラミナは上下と左面が解放面となり、さらにはば剥ぎ接着もないことから、膨張により左方向に膨らむが、中央のラミナとの接触面では変形が拘束され、ラミナの断面はひし形に変形している。したがって、上下端面が拘束されていない場合は、ラミナ内の上と下の変形量が異なり不均質な内部応力が発生し、亀裂が発生しやすくなると考えられる。また、上下ラミナ、または、中央のラミナのどちらかに亀裂が生じた場合には、内部応力がそこで解放されるので、残ったラミナの亀裂発生が抑えられると考えられる。

接着層の剥離についても同様なことが言える。図-25 に、CLT 長軸方向側面と、CLT 弱軸方向側面に分けて、上中層間と中下層間の各接着面における接着面長さ 1 m 当たり発生した剥離長さを示す。強軸方向側面では、剥離はほとんど生じていない。1.8 年経過後も接着能力はほとんど低下しておらず、ラミナが長軸方向の平行面に挟まれている場合には、上下面から均等に拘束され、剥離が生じにくいと考えられる。一方、弱軸方向側面では、ラミナ内の亀裂発生と同様に、不均質な内部応力が発生し剥離発生が多くなっていることがわかる。

乾燥した CLT を含水比の高い軟弱地盤の補強材に用いた場合には、直交したラミナがそれぞれの方向に膨張する。木材は、繊維飽和点以下の含水率で水分を吸着した場合、繊維方向 (L 方向)、半径方向 (R 方向)、接線方



写真-11 CLT 弱軸方向側面の様子

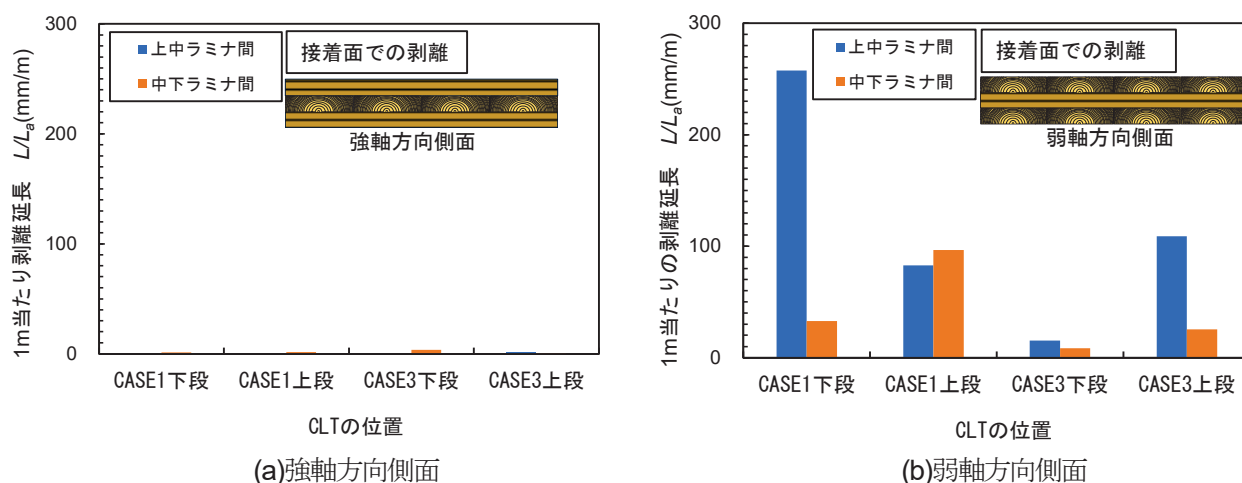


図-25 接着層で発生した剥離の発生状況 (1 m 当たりに発生した剥離長さ)

向 (T 方向) で膨潤量が大きく異なる。一方で、1.8 年経過後も直交するラミナ同士の接着力の低下は少なく、この部分の膨張量は抑えられるので、CLT 内部には、ラミナ内に不均質な内部応力が発生し、ラミナ内や接着面に亀裂または剥離が生じる。このように、CLT を湿潤な地盤内に用いた場合には、直交するラミナは直交す方向で異なった膨張が生じ、接着面の劣化が生じる前に、ラミナ内の亀裂や接着面の剥離が生じると考えられる。

なお、フィンガージョイントにおける剥離は、確認されなかった。

4.6.3. 曲げヤング係数と曲げ強さ

図-26 に掘出した CLT の曲げヤング係数、図-27 に曲げ強さを示す。それぞれは、CASE1 と CASE3 の全ての CLT から切り出した試験体の結果である。図中には、「JAS3079 : 2019 直交集成板」に示される、適合基準値を併記した。曲げヤング係数は、いずれも適合基準値の下限值を上回り、曲げ強さはいずれも目視等級区分以上で、1.8 年間 CLT は常水面以浅の地下水位変動域内の地盤中に設置されていたが、適合基準値や目視等級区分を下回る力学的な劣化は認められなかった。

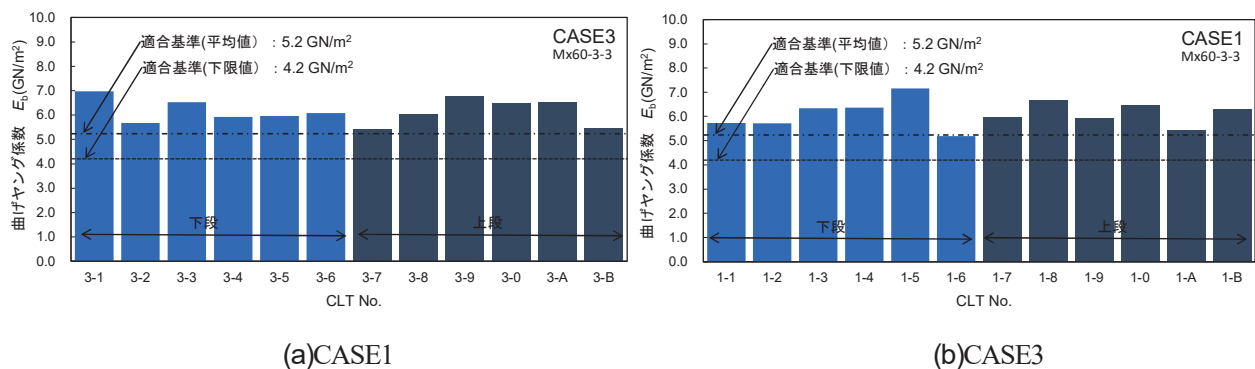


図-26 掘り出した CLT の曲げヤング係数

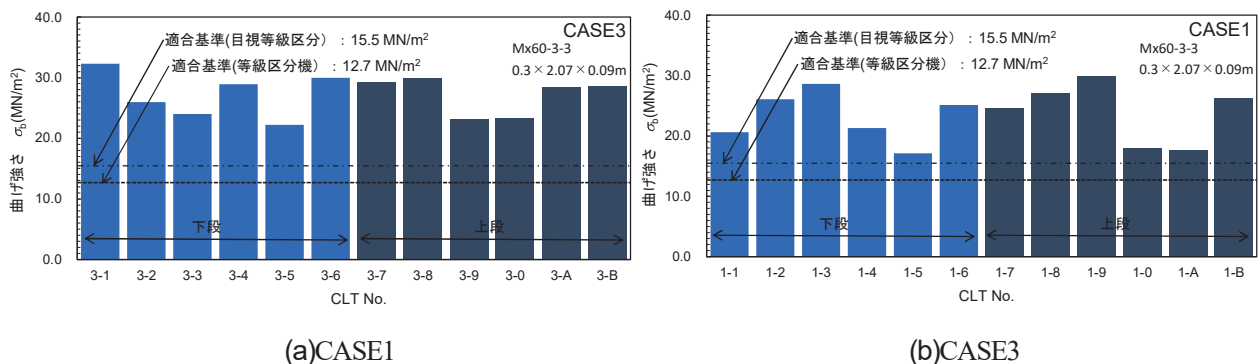


図-27 掘り出した CLT の曲げ強さ

4.7. 施工性

CLT の運搬、CLT の敷設、盛土の造成についての施工性についてまとめる。

実験で使用した CLT の合計材積は、31.42 m³ であり、4 種類の異なった寸法の 36 枚の CLT を 22 t のトレーラー 1 台で全数搬入した。このように、CLT は他材料と比べ軽量であり、一度に大量の CLT を運搬できる。これは、大きな利点の一つである。

CLT の荷卸し、および、CLT の敷設には、25 t 吊りのラフタークレーンを用いた。本実験の場合、ケースごとにクレーンを設置し、その後各ケースでは、クレーンを移動させることなく各全数の CLT を敷設した。CLT の吊り上げは、4 点のアイボルトにワイヤをかけるだけなので、極めて容易に、かつ、短時間で荷卸しと指定位置への敷設ができた。ここで、CLT を容易に吊り下げ可能にしておくことは、極めて重要である。

図-28 に、各ケースの施工時間を示す。いずれも各ケースの対象面積は、91 m² である。CASE3 は、CLT を上下段に全面敷設するだけなので、施工時間は僅か 90 分 (1.5hr) で完了した。CASE1 は、井桁状であるため、下段の CLT 敷設後、CLT 間の砂による埋め戻しと、タンパーによる砂の締固めが必要である。砂の埋戻しは、ラフタークレーンにホッパー付きのバケットを吊るし、砂を運搬投入し、さらに上段の CLT を敷設後、下段と同様に砂を埋戻し締固めた。このため、上下段の CLT 敷設に要した時間は、CASE3 より多い 130 分 (2.17 hr) であった。CASE2 では、さらに上段の CLT を固定するために、CLT の交点においてラグスクリューで仮止めし、その後ドリルで孔を開け、さらにその後開けた孔に丸鋼を打ち込んだので、これに係る時間が多くなり、上下段の CLT を敷設するのに 430 分 (7.17hr) を要した。各ケースで共通である表土掘削と盛土造成を除く CLT 敷設に要した時間は、CLT 固定を行う CASE2 で 7.17hr とやや時間を要するが、いずれも 91 m² の地盤補強を実施するのに 1 日以下であり、固定を行わない CASE1 と CASE3 では 3hr 以内で、かなり施工速度は速く、これも大きな利点といえる。

地盤の掘削、土砂の短距離運搬、盛土材の運搬、盛土の造成と締固めには、バックホウ、ゴムクローラーキャリ、10 t ダンプトラックを用いた。これらは、いずれも一般的に用いられる機械であり、ラフタークレーンを含め、本工法では、特殊な機械は不要で一般的な機械のみで施工できることを確認にした。

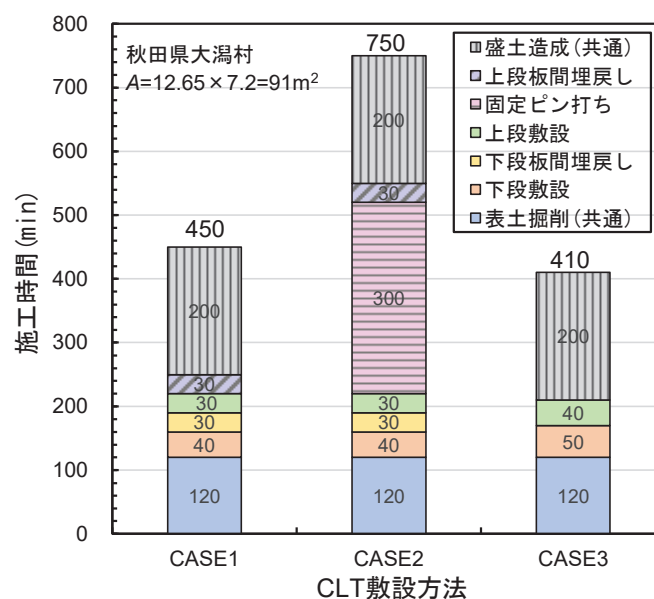


図-28 各 CLT 敷設方法による施工時間



写真-12 10tトラックの走行状況

写真-12は、0.7m程度盛土し、バックホウで4回転圧後、10tダンプの走行状況である。CASE2を施工するために、CASE1の盛土上を運搬路として用いた。この運搬路は、ダンプトラックの走行に何ら支障がなく、トラフィカビリティは極めて良好であった。なお、CASE2とCASE4は、盛土材搬入の奥側に位置し、ダンプの走行性は確認できなかったが、敷き均しに用いたバックホウの走行性についてのオペレーターへのヒアリングでは、無対策のCASE4で、バックホウの揺れが他と比べ明らかに大きく、CLTを敷設した盛土上でのトラフィカビリティが相対的にも良いことが確認できた。

4.8. コスト比較

幅 6.9 m×延長 100 m で、0.5 m 掘り込みを行い、盛土 1.5 m を造成することを仮定し、セメントによる中層混合処理を実施した場合と、本工法のコストを比較した。中層混合処理の積算は、「国土交通省土木工事積算基準」による施工パッケージ型積算方式（直接工事費=材料費+労務費）で算出した。中層混合処理のセメントには、超軟弱地盤用を使い、1 m³あたり 75 kg 添加し、厚さ 1 m の改良体を作ることを想定した。

図-29 に、各ケースの CLT 敷設方法で施工した場合の施工と材料に対するコストをセメント中層混合処理との比率で示した。施工コストは、敷設の施工時間が短い CASE3（全面）が最も低く、CLT を井桁状に敷設する CASE1（井桁、固定なし）がそれよりやや大きいがほぼ同等で、井桁状で CLT の交点を固定する CASE2（井桁、固定あり）がかなり大きくなった。CLT の敷設に要する時間が短いので、交点の固定のような手間のかかる作業の影響が大きいと言える。

CLT の材料コストは、当然のことながら全面に敷設する CASE3 が、井桁状の CASE1 と CASE2 の 2 倍となる。施工と材料コストの合計は、井桁状で固定のない CASE1 が最も低く、次に CASE2 で、CASE3 が最も高くなり、CLT のコストの影響が大きいことがわかる。

セメント中層混合処理と比較すると、CLT による方法は 3～5.4 倍高く、大きな課題といえる。他の工法と同等レベルにするには、特に CLT 自体のコスト削減が重要だと言える。

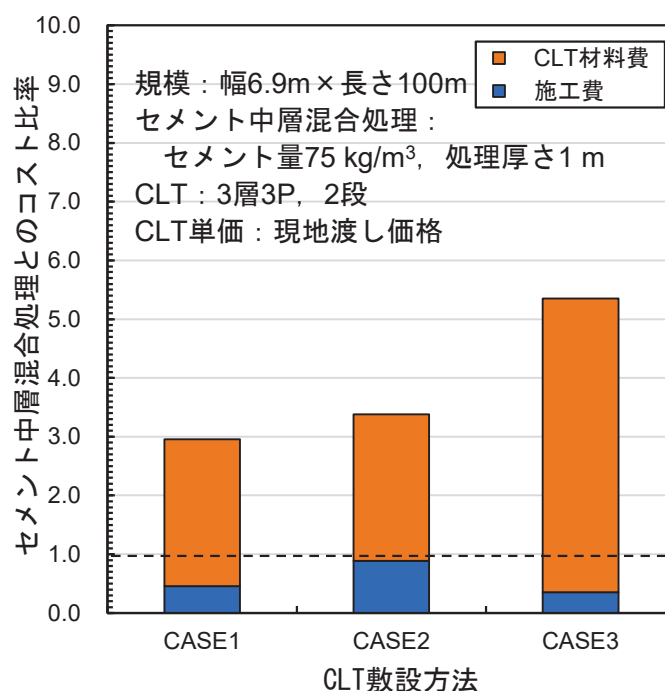


図-29 各 CLT 敷設方法によるコスト比較

4.9. まとめ

- (1) 実験で設置した CLT は、空気に晒されず、地盤または盛土内にあり、地下水位観測により、実験期間中は地下水位の変動域内にあった。
- (2) 不同沈下を含めた沈下抑制、および、すべり安定性の強化については、CLT の優位性や合理的な CLT の配置方法を確認することができなかった。ただし、少なくとも CLT を設置することが、これらの力学的特性に対してマイナス要因とはなっていない。
- (3) CLT は、1.8 年間、地下水位の変動域内にあったが、CLT には生物劣化は生じず、力学的な劣化も認められなかった。
- (4) ラミナの接着状況は良好で、フィンガージョイントにおける劣化は確認されなかった。一方で、弱軸方向側面では、ラミナ内と接着層で亀裂や剥離が多く確認され、膨張量の異なる直工するラミナが良好に接着されているために、ラミナ内に不均質な内部応力が発生したものと考えられた。
- (5) 丸鋼により上下の CLT を固定する方法は、地下水の変動域内で 1.8 年経過したが、緩みなどなく固定度が高く良好であった。
- (6) CLT は一度に大量輸送が可能で、ラフタークレーンを使うことで、CLT の敷設の施工速度も速く、施工には特殊な機械を必要とせず、CLT 敷設後のトラフィカビリティも良好であった。
- (7) 同等の性能を有するのであれば、本実験ケースの中では、ピンなしの井桁状が、施工時間が短くコストも優位であった。
- (8) 施工と材料に関するコストは、他工法と比べ高く、特に、CLT 自身のコストが現状における課題の一つである。

5. 実用化に向けた課題と仮設道路等への適用の今後の見通し

5.1. CLT 水平地盤補強の課題

- (1) 現状では、CLT の材料コストが高く、工事費全体に占める材料費の割合が 70%を超え、施工におけるコスト低減を図っても、既存工法にはとても勝てない。それなりの強度を持った板状で軽量であるという優位性を維持しながら大幅なコスト削減を図るための改良が必要である。そのためには、地盤中の主には地下水位以深で使う材料に対して乾燥させる必要があるか、地盤中で使うのにプレーナー掛けが必要か、接着剤が地盤中で長期的に使う場合接着剤がそもそも必要か、といった根本的なことや、寸法の適正化、運搬方法、CLT 生産の拠点化など、CLT の材料コスト削減を行い、工事費を既存工法レベルまで下げる必要がある。
- (2) コスト削減と同様に、CLT 製造時の二酸化炭素排出削減も必要である。コスト削減は、二酸化炭素排出削減にもつながる。
- (3) 地盤中、または、地下水位以深における CLT の長期的な生物学的および物理的な劣化特性を明らかにする必要がある。劣化に対する既存のデータは、建築を対象としたものが基本で、地盤中を想定したデータがない。土木構造物への使用には、信頼性のあるデータが必要であり、長期の地道なデータ取得が必要である。
- (4) 同時に、地盤中の CLT は、湿潤状態となり、このような状態の CLT の基本的な力学的特性もほとんど不明である。このため、現状ではかなり安全側の値を用いて、設計せざるを得ない。また、CLT は異方性が強く、これに対しても安産側の値を使用せざるを得ない。
- (5) 安定性の設計方法の考え方を示したが、載荷試験などでの、実証が必要である。また、CLT が板状の材料であることから、不同沈下対策としても有効だと考えられるが、これについても有効な実証データが得られておらず、今後、これらのデータの蓄積が必要である。

5.2. 仮設道路などへの CLT 水平地盤補強の適用の今後の見通し

- (1) 盛土基礎としての力学的な特性の検証は得られていないものの、CLT 敷設がマイナス要因とはならないことは検証できた。したがって、本体工事への適用はしにくいですが、仮設道路などへの適用は可能と考えられ、特に、超軟弱地盤の仮設道路造成への適用が考えられる。まずは小規模でも仮設工事での適用を行い、そこでのデータを取得し、それを蓄積する必要がある。
- (2) 現在の CLT は、大判より、適切な寸法に切断して使用されているが、土木での利用を考えると、敷き鉄板のように定尺とした方が設計も簡易化でき、施工計画も立てやすくなると考えられる。ちなみに、敷き鉄板は、 $1,524 \times 6,096 \text{ mm}$ （ごのにじゅう）または $1,524 \times 3,048 \text{ mm}$ （ごのとう）がよく用いられ、同寸法とすると馴染みやすく既存の道具や機械なども使用しやすいと考えられる。CLT の厚みも、3 層 3 プライで 90 mm とすることを標準にするとよい。
- (3) 検証データが蓄積されれば、高さ数メートル程度の中規模な盛土や、恒久的な盛土にも適用が可能と考えられ、実績とデータの取得が今後必要である。
- (4) CLT の水平地盤補強は、液状化時の被害低減策としても有効であると考えられる。CLT は軽量であるとともに面的に上載荷重を支えるので、液状化時の不同沈下低減に大きな効果を発揮すると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：仮設構造物の計画と施工（2010年改定版），p. 75，2010.
- 2) 土木学会：仮設構造物の計画と施工（2010年改定版），p. 76，2010.
- 3) 仮設構造物の計画と施工：土木学会建設技術研究委員会，2010.
- 4) 公共工事標準請負契約約款：中央建設業審議会，2022.
- 5) 民間建設工事標準請負契約約款（甲）：中央建設業審議会，2019.
- 6) 民間建設工事標準請負契約約款（乙）：中央建設業審議会，2019.
- 7) 日本道路協会：仮設構造物工指針，道路土工，p. 1，1999.
- 8) 日本道路協会：仮設構造物工指針，道路土工，p. 3，1999.
- 9) 日本道路協会：軟弱地盤対策工指針，道路土工，p. 235，2012.
- 10) 土木学会建設技術研究委員会：仮設構造物の計画と施工[2010年改定版]，P. 78，2010.
- 11) 土木学会建設技術研究委員会：仮設構造物の計画と施工[2010年改定版]，p. 79，2010.
- 12) 日本道路協会：軟弱地盤対策工指針，道路土工，p. 299，2012.
- 13) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会，土木学会木材工学委員会：2009年度土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書，pp. 63-74，2010.
- 14) サステナブル経営推進機構：海外のCLT政策と利用事例の調査，24 p.，2021.
- 15) 日本CLT協会：低コストCLTと土木利用技術の開発，198 p.，2022.
- 16) 日本道路協会：軟弱地盤対策工指針，道路土工，pp. 148-151，2012.
- 17) CLT関連告示等解説書編集委員会：CLT関連告示等解説書：2016年公布・施工，pp. 57. 2019.
- 18) 日本道路協会：盛土工指針，道路土工，pp. 94-95，2010.
- 19) 日本道路協会：仮設構造物工指針，道路土工，p. 30，1999.
- 20) 日本道路協会：盛土工指針，道路土工，pp. 101，2010.
- 21) CLT関連告示等解説書編集委員会：CLT関連告示等解説書：2016年公布・施工，pp. 79-86. 2019.
- 22) Tonosaki, M., Numata, A., Takahara, S., Yamashita, K. and Kubojima, Y.: Degradation and mass loss of Japanese cedar cylindrical piles buried for 10 years with their heads at the ground surface, *Journal of JSCE*, Vol.11, No.1, Vol.11, No.1, 22-00315, 2023.
- 23) 沼田淳紀，村田拓海，外崎真理雄，高原繁：8年前に液状化対策で打設した丸太の掘出し現地調査，木材工学論文集，Vol.80，No.2823-28004，2024.
- 24) 村田拓海，沼田淳紀，外崎真理雄，高原繁：10年前に液状化対策として打設した丸太の掘出し調査における現地調査結果，木材工学研究発表会講演概要集22，土木学会，pp.17-22，2023.
- 25) 沼田淳紀，村田拓海，外崎真理雄，高原繁：5年経過した突出丸太の劣化度調査，土木学会全国大会第78回年次学術講演会，V-170，2023.
- 26) 日本CLT協会：CLTの土木利用技術の開発と実用化のための定コストCLT製造技術の検証事業報告書，令和3年度木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業，pp. 112-135, 2023.2.
- 27) 農林水産省：土地改良事業計画設計基準 農道，2005.3.
- 28) 秋田県大潟村：大潟村ジオガイド.