

盛土の切盛境における地盤ひずみ評価に関する検討

Examination of ground strain by spatial variation of earthquake motion
around the border of cutting and embankment

一井康二 Koji ICHII (広島大学大学院工学研究科)
横田誠之 Masayuki YOKOTA (中電技術コンサルタント(株))
加納誠二 Seiji KANO (広島大学大学院工学研究科)

土構造物が被害を受けやすい箇所として、基盤や地表面が傾斜している場所や、地盤の剛性が急変する不整形地盤がある。特に切土や盛土の境界部(切盛境)では、地震時にクラックの発生や不同沈下等の被害が発生し、ライフラインの機能障害を引き起こした被害事例がある。その原因の一つには、地盤剛性の急変部において地震動が空間的に変化することから、これらの地震動の空間変動によって地盤に大きなせん断ひずみが発生するためであると考えられる。

本研究では盛土地盤の剛性を変化させた弾性体模型を小型振動台で加振し、地盤剛性の急変部(切盛境)周辺の盛土天端に現れるひずみを検討した。そして、その簡便な推定法を提案した。

キーワード：地震応答、地盤ひずみ、盛土、切盛境 (IGC : E08)

1. はじめに

道路や鉄道などでは、線状に連続する構造物に対して、地震時においても全線にわたり機能を維持できることが要求される。しかし、このような線上に連続する構造物では、基盤面の傾斜などを有する不整形地盤上の盛土や、地盤の剛性が急変する切り盛りの境界部に被害が発生しやすいことが知られている¹⁾。

例えば、1993年の釧路沖地震では、造成宅地の切り盛り境付近において大きな変位が起り、埋設管などのライフラインに被害があった。この原因としては、①切り盛り境は集水地形になりやすく、地震時に境界の部分からすべり破壊や崩壊が生じる、②切土と盛土では硬さ等の地盤条件が異なり、地震時の挙動に差が生じることにより、境で大きなひずみが生じ、また、不同沈下等も生じる、といったものが考えられている²⁾。

地盤条件の急変部における構造物の挙動については、地中構造物に関する研究がいくつか行なわれている。しかし、盛土のような土構造物を対象とした研究は必ずしも多くはない。実際には、盛土厚や基盤層の剛性変化等により、切盛境付近において大きなひずみが生じ、埋設管などに被害が発生したり、盛土上に段差が生じたりすることが予想される。そこで本研究では、盛土内の埋設構造物等の損傷や盛土天端における車両や鉄道の通行機能の評価法の確立に向けて以下の検討を行った。まず、地盤条件が変化する地盤上に存在する盛土の挙動を把握することを目的と

した弾性体模型実験を行った。そして、盛土天端におけるひずみおよび振幅の分布を簡易的に評価する方法を提案した。

2 切盛境を対象とした弾性体盛土模型の振動実験

2.1 実験模型および装置

本実験では、堤防模型及び模型地盤を牛乳とゼラチンを混合したもので作製した。これは、大ひずみ領域までクラック等が生じない弾性体を材料として利用することで、ひずみ分布を極端な共振状態で把握することを可能とし、小型模型実験においても十分なひずみ量を計測できるように配慮したためである。盛土模型と軟弱地盤については牛乳とゼラチンの重量比を100:7.5とし、高さ40mm、勾配1:1の三角形断面の盛土とした。また、中央部に硬質地盤を設けることで、地盤条件急変部を模擬した。この硬質地盤の硬さは、牛乳とゼラチンの重量比を軟弱地盤の際の重量比(100:7.5)よりゼラチンの量を多くすることによって調整した。模型作成時は先に硬質地盤分のみの材料を型枠に流し込み冷やして固めた後、その左右に軟弱地盤用の材料を流し込み固めた。図-1に実験模型の寸法図を示す。本研究ではこの硬質地盤に関して牛乳とゼラチンの重量比を2種類(CASE①100:15, CASE②100:12.5)に変化させて実験を行った。なお、上下端の境界は固定端となるようにゼラチンと牛乳の混合物を上から塗る工夫を行っている。そして、目視により固定端の条件が満足されている

と判断した。

加振には小型振動台を用い、堤防模型の天端の振動中の変位量を、CCD カメラを用いて撮影した標点の変位を画像解析することで測定した。振動台には正弦波を加振振幅一定（片振幅 0.25mm）で振動数を変えて入力した。加振振動数は 5～35Hz の範囲で 1Hz 刻みである。変位振幅を一定とした理由は、入力加速度一定の加振条件では、高周波数領域における変位が小さくなり、画像解析による計測が困難となるためである。

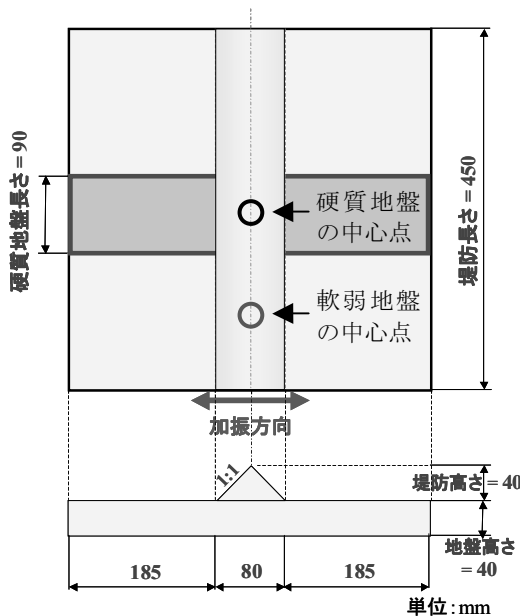


図-1 実験模型の概要

本研究で用いた CCD カメラは最速 360 コマ/秒での撮影が可能であり、1 ドットあたり 0.185～0.19mm 程度の分解能となるように撮影範囲を定めた。図-2 に実験手順を示す。

2.2 実験模型の材料特性

盛土模型の物理的特性を明らかにするため、模型作製時に別途、四角柱供試体を作って振動台で加振し、材料特性を求めた。具体的には、ある一定の周波数で加振中の振動台を瞬間的に停止させることによって加振中の供試体を減衰振動させ、その時の変位時刻歴から供試体のせん断弾性係数および対数減衰率を求める減衰法を用いた³⁾。

材料特性把握のための供試体寸法は、30mm(加振方向)×30mm(加振直角方向)×50mm(高さ)の直方体である。せん断剛性は実際に観測された振動形状をもとに、曲げ変形を仮定して求めた。画像解析を行うため、供試体上面の中心に標点をプロットしている。そして、標点の時刻歴波形のフーリエスペクトルより、供試体の固有振動数を推定し、せん断剛性係数 G を算出した。本研究では硬質地盤の剛性を変化させ、それによる影響を検討するため、実施した

2 ケース (CASE①, ②) のそれぞれにおける硬質地盤および軟弱地盤の材料特性を表-1 に示す。なお、盛土の材料は軟弱地盤と同じである。ただし、軟弱地盤は 2 ケースとも同様に作製したものの、実験室内の温度および湿度の違いにより若干の物性の違いが生じた。

2.3 相似則に関する検討

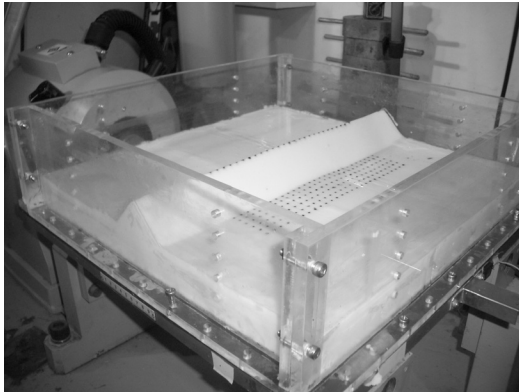
模型実験においては、一般に実物と模型の定量的関係を示す相似則が問題となる。しかし、本研究においては、以下の点を考慮して、相似則を考えないで議論を行う。

- ① 模型盛土の形状が三角形に単純化されており、実際に多く存在する台形状の盛土の挙動と比較することがそもそも容易ではない
- ② 実際の地盤では地盤材料の剛性が拘束圧依存性を示すが、模型材料は拘束圧依存性が不明である材料を用いている。なお、本実験は 1G 場で、かつ低拘束圧条件下であるため、実質的に材料特性は一定であると考えてよいが、この点から深度方向のひずみ分布等が模型と実物で異なっている可能性が高い。
- ③ 本実験では加振振動数を一定として正弦波を連続して入力し、応答が安定した一種の共振状態における盛土の応答変位を計測している。したがって、不規則波が入力される一般の条件とは異なり、極端な条件下でのひずみ分布を議論しており、実現象に実験結果を単純に当てはめることはできない。

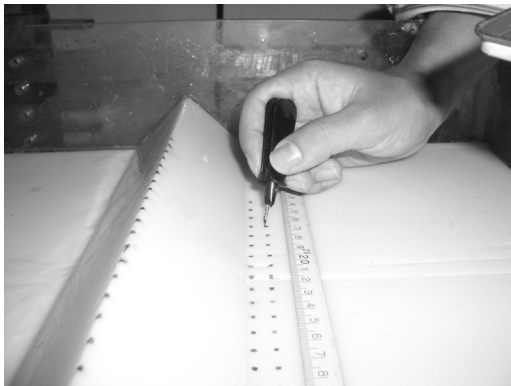
したがって、本実験結果は極めて定性的なものとして解釈されるものである。実際、表-1 から求まるせん断波速度は極めて小さく、実地盤としては非現実的な値となる。模型スケールに応じて剛性は小さくなるという意味では、相似則により一般的に定まる傾向と定性的には一致すると予測されるが、注意が必要である。しかし、ある極端な条件下とはいえ、地盤物性の急変部におけるひずみの分布形状については、十分に議論の根拠となる情報を与えているものと考えている。つまり、今回の実験結果はそのまま定量的に使えるものではないが、今後の設計法等の確立に向けた検討の方向性を議論する上での定性的な資料としては十分に有用であると考えている。

表-1 材料特性の測定結果

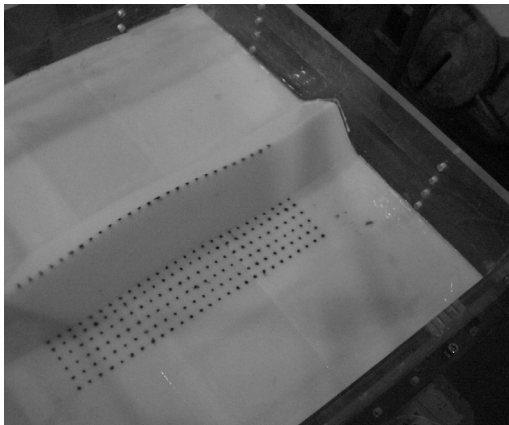
	せん断剛性係数[kPa]		減衰定数 h[%]	
	硬質地盤	軟弱地盤	硬質地盤	軟弱地盤
CASE①	13.1	3.7	1.89	1.00
CASE②	11.1	5.5	2.23	1.17



a) 供試体の設置



b) 標点のプロット



c) 加振中の様子

図-2 実験手順

2.4 実験結果

振幅の分布は加振周波数を変化させていくにつれて変化する。図-3 に CASE①における、加振周波数 11~22Hz の時の盛土天端の振幅分布を示す。地盤の剛性が変化する境界部からの距離に応じて、一周期分の変化を示している。図中の □ は地盤剛性の高い硬質地盤の範囲を表している。なお、以下では模型中央部の硬質地盤を中心に左右対称な挙動をしていると考え、模型の右側部分を取り扱う。また、図-4 に硬質地盤ならびに軟弱地盤上にある盛土の最大振幅 A_{m-max} と加振周波数の関係を示す。ただし、実験結果から求めた図-4 では、硬質地盤および軟弱地盤上盛土の最大振幅を図-1 に示した盛土天端の中心点が示すと仮定して求めている。これは、この点は盛土が 1 次固有振動数による振幅のピークを迎えるまでの間、模型の境界条件をふまえた振幅分布の腹の地点となるため、最も顕著な盛土の挙動を表す点であるためである。ただし、本来の軟弱地盤の中心点は境界部より 90mm の地点であるが CCD カメラの撮影範囲の問題から、図-3 に示すように境界部より 80mm の範囲までしか計測できていない。そこで、80mm の地点を中心点と仮定している。なお、目視で 90mm の地点と 80mm の地点の挙動はほぼ同じであることを確認している。

図-4 に示すように、振動の増幅率が大きな軟弱地盤上の盛土の方が 1 次ピークにおける振幅が大きくなっているのがわかる。また、硬質地盤および軟弱地盤の 1 次固有振動数はそれぞれ 16Hz, 13Hz となっている。そのことをふまえた上で図-3 を見てみると、13Hz までは硬質地盤上の盛土の振幅はあまり変化しない。一方、軟弱地盤上の盛土の振幅は 13Hz で 1 次ピークを迎え大きくなり、図-3 に示すように剛性変化部を端とした正弦波に近い形状を示す。そして、14Hz~17Hz になると軟弱地盤側の盛土の振幅が 13Hz 時よりも小さくなり、硬質地盤上の盛土の振幅が大きくなっている。この時、正弦波状の振幅形状の端の位置が軟弱地盤側にずれている。さらに、加振周波数が増加していくと、図には示していないが、地盤の固さに関係なく振幅が一定であったり、波の節が複数生じている挙動を示したりする。以上のことは振幅の差、固有振動数の違いはあれど、CASE②の場合も同様であった。

ここからは剛性変化部における振幅の変化に注目するため、振幅が最も大きくなる 1 次固有振動数の影響が支配的である 5Hz から 16Hz 時までのものに限定して検討を行っていく。

図-5 に硬質地盤および軟弱地盤上の盛土天端中心点における振幅の位相差 θ と加振周波数の関係を示す。

同図より、CASE①では 12Hz まで、CASE②では 11Hz まで位相差が 0° である。これは、CASE①、CASE②の軟弱地盤上の盛土の固有振動数がそれぞれ 13Hz、12Hz であるためであり、一次固有振動数付近の振動数以上になると位相差が発生することがわかる。

また、両ケースとも、固有振動数以降の加振周波数では位相差 θ が 100° 以上となり、最大で約 180° と硬質地盤と軟弱地盤間で波の動きが正反対になっている周波数もある。

この位相差を考慮した硬質地盤と軟弱地盤の振幅の差を df [mm]とし、図-6 に振幅差 df と加振周波数 f との関係を示す。同図より、2つの関係は図-6 のものと傾向はほぼ同じであるが、位相差が発生する 1 次ピーク以降の場合については、位相がほぼ真逆になるものもあり、図-6 の振幅値 A_{m-max} よりも大きな値となっている。特に CASE① の 16Hz 時、CASE② の 15Hz 時では硬質地盤上の盛土が固有振動数となることから、単体の最大振幅としてはより大きな振幅が発生する軟弱地盤の 1 次ピーク時の振幅差よりも大きな値となっており、盛土天端に発生するせん断ひずみが大きなものになることが考えられる。なお、図-5 および図-6 に示した 5Hz から 16Hz の範囲では、硬質地盤内および軟弱地盤内では、ほぼ同位相で振動していたことを追記しておく。

3 盛土天端における延長方向のせん断ひずみ分布

3.1 実験結果の分析

図-7 に盛土変形時の各諸元の定義を示す。図中の γ_{xy} 、 γ_{zx} はそれぞれ盛土の鉛直方向、延長方向のせん断ひずみの指標として定義したものであり、具体的な定義は以下のとおりである。

$$\gamma_{xy} = \frac{A_{m-max}}{\text{盛土高さ}} \quad (1)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{A_{m(i)} - A_{m(i+1)}}{\text{標点 } i \text{ および } i+1 \text{ の距離}} \quad (2)$$

ここで、式(1)に用いられる A_{m-max} は硬質地盤ならびに軟弱地盤上の全体の盛土天端における振幅の中で最大のものを指す。また、 i は標点番号を表している。

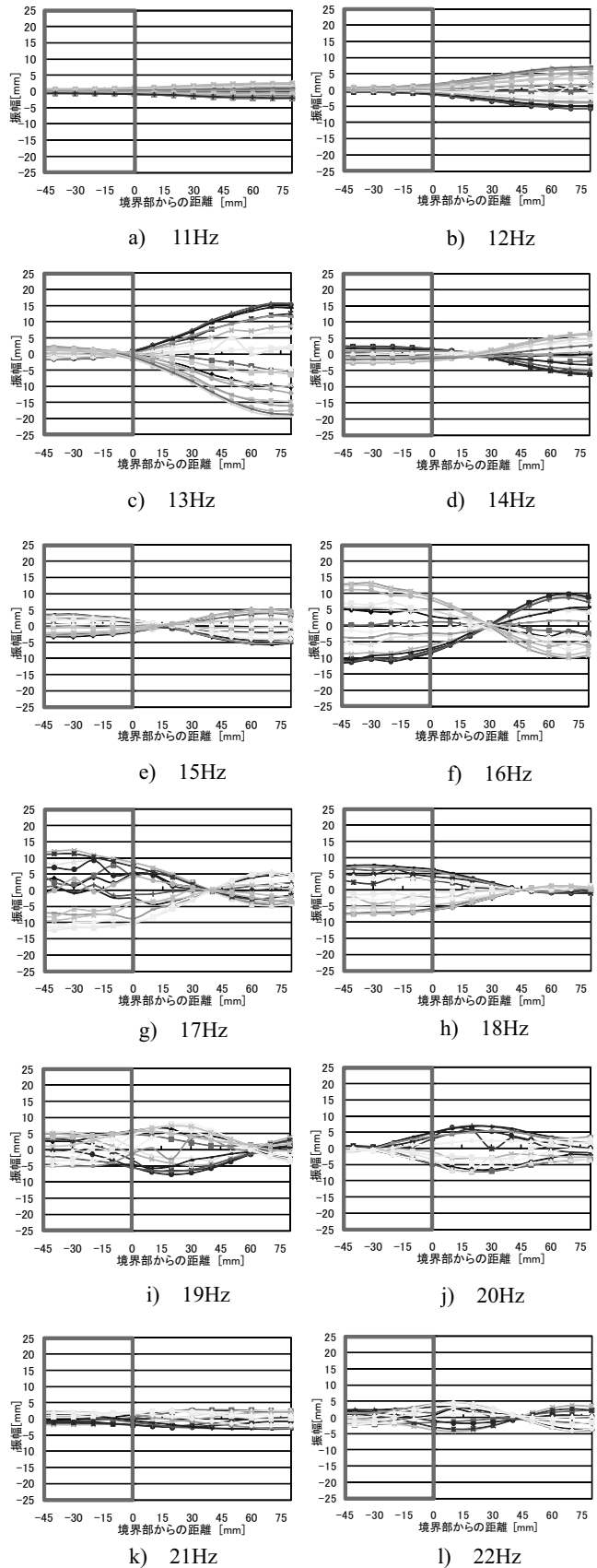


図-3 盛土天端における振幅と剛性変化部からの距離
(各線は、波の 1 サイクルにおける
種々の位相に対応した振幅分布を示す)

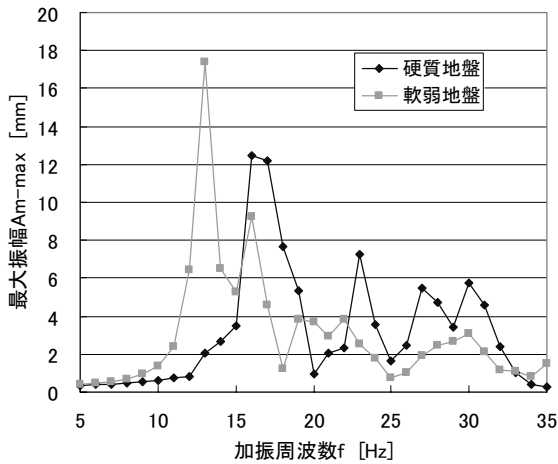


図-4 最大振幅と加振周波数の関係

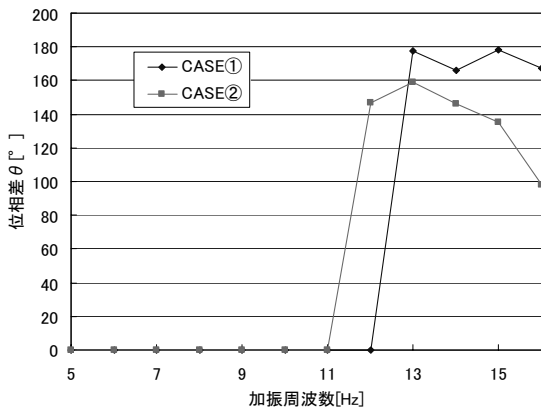


図-5 代表点間の位相差と加振周波数の関係

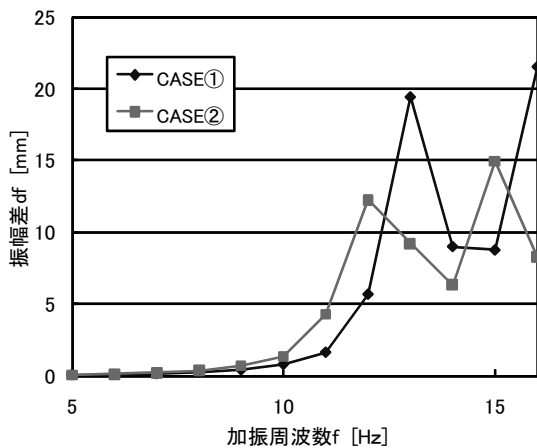


図-6 代表点間の振幅差と加振周波数との関係

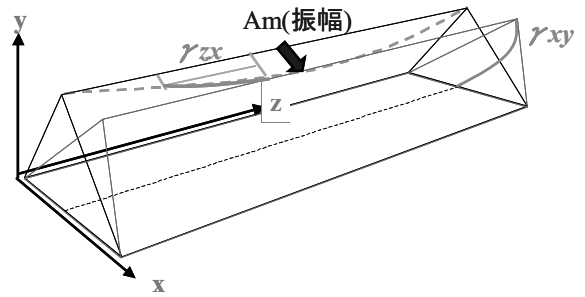


図-7 盛土変形時の各諸元の定義

図-8にCASE①における加振周波数ごとに、剛性が変化する境界部からの γ_{zx} の分布を波の1周期分について描いたものを示す。同図に示すように、11Hz以下の振動数はどの位置でも γ_{zx} は小さな値となっているが、12Hz以上の振動では、境界部から40mm程度離れた位置でひずみが最大となるような上に凸の曲線上的分布が発生した。特に、軟弱地盤が1次固有振動数を迎える13Hzではかなり大きな γ_{zx} が発生した。そして14、15Hzでは γ_{zx} の値が若干小さくなり、16Hzではこれまでの分布形状に比べ、硬質地盤上の盛土天端にも最大で0.2程度のひずみが発生するなど、複雑な γ_{zx} 分布となっている。16Hzの複雑な現象については図-3 f)に示すように、硬質地盤上の盛土の固有振動数となっていることから、硬質地盤側と軟弱地盤側の双方に同程度の振幅が発生しているためであることがわかる。

発生する γ_{zx} の値に差はあるものの、その最大値 γ_{zx-max} が発生している箇所に注目した場合、多少複雑なひずみ分布であった16Hz時も含め、どの加振周波数においても境界部から約45mmの位置で最大となっている。これは、図-3からわかるように、軟弱地盤上の盛土天端振幅が境界部付近を節、軟弱地盤の中央部(境界部から90mmの箇所)で腹となるような分布をしているためである可能性が高い。なお、17Hz以上の振動数のものについては、今回は検討対象外ではあるが、その節・腹となる場所ならびに数が変わってくるため、必ずしも境界条件からひずみが最大となる位置が特定できるとは限らないと考えられる。

なお、本実験で得られた盛土モデルのひずみレベルは最大で数十%と非常に大きい。このため、ゼラチンを用いたモデルといえども非線形挙動を示す領域であると考えられる。したがって、前述した相似則の問題もあり、実盛土の挙動をうまく表現できているかどうかに関しては疑問点も残る。しかし、本実験は大きなひずみの領域においてもクラック等が生じないゼラチンの弾性体としての性質を利用することで、ひずみ分布についての定性的な形状をうまく

把握することができた点に特徴がある。そして、本研究で把握したゼラチン盛土のひずみ分布の性質は実盛土のひずみ分布を推定する上でも有益な情報であると考えている。

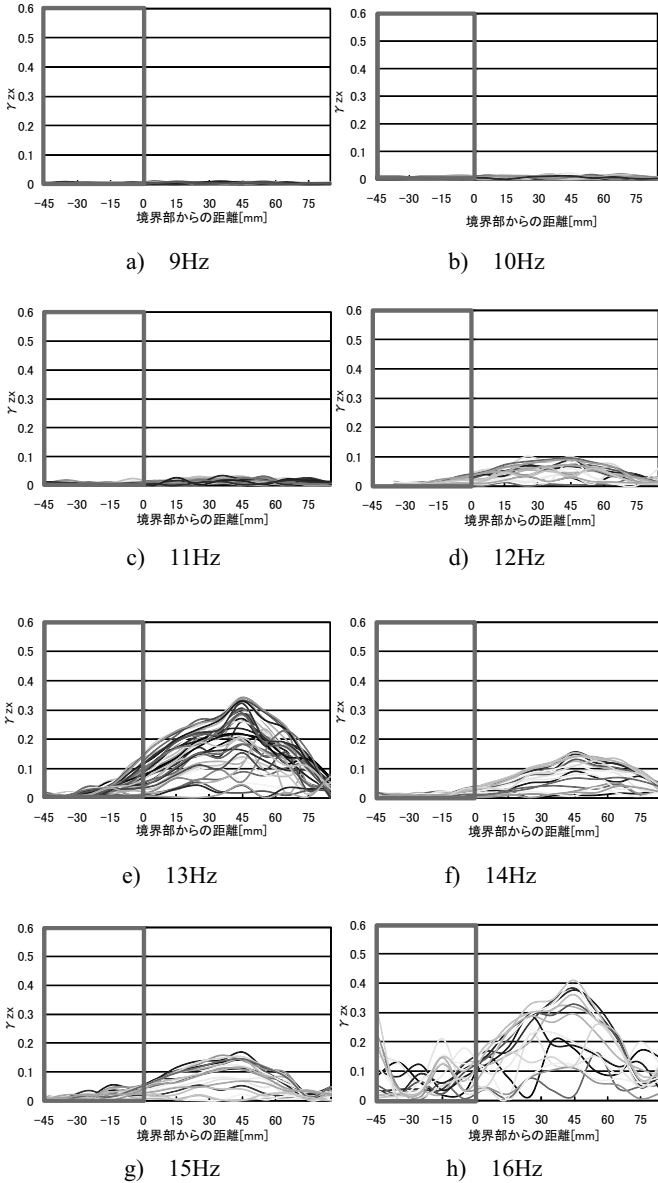


図-8 盛土延長方向のひずみ γ_{zx} と剛性変化境界部からの距離
(各線は、波の1サイクルにおける種々の位相に対応したひずみの分布を示す)

図-9 に延長方向のせん断ひずみ γ_{zx} と鉛直方向のせん断ひずみ γ_{xy} のそれぞれの最大値である γ_{zxmax} と γ_{xymax} の関係を示す。

同図より、どちらの CASE においても γ_{xymax} と γ_{zxmax} には同様の比例関係があることがわかる。これは、今回検討したような 1 次固有振動数を超えない範囲にお

いては、図-3 および図-8 の振幅および γ_{zx} の分布図が示すように、盛土天端の最大振幅が大きくなると γ_{zx} も大きくなっていることと、式(1)で定義される γ_{xy} も振幅の影響を直接的に受けるパラメータであることから、2つのせん断ひずみの関係性については直感的に納得できる。

図-9 で比較した γ_{zxmax} と γ_{zymax} の発生する地点は異なっているため、図-10 に γ_{xymax} および γ_{xymax} が生じた標点における γ_{zx} ($\gamma_{zx@ \gamma_{xymax}}$) との関係について示す。この時、図-9 と比べて γ_{zx} はもちろん小さくなる。ここで γ_{xymax} の位置を考えた場合、そこは振幅が最も大きくなる地点であると同時に、盛土の硬質地盤側あるいは軟弱地盤側の当該加振振動数において境界からの拘束が最も小さく平面ひずみ条件に最も近い挙動を示す地点である。従って、その周辺での振幅の変化は穏やかになるため、 γ_{zx} は小さくなる。

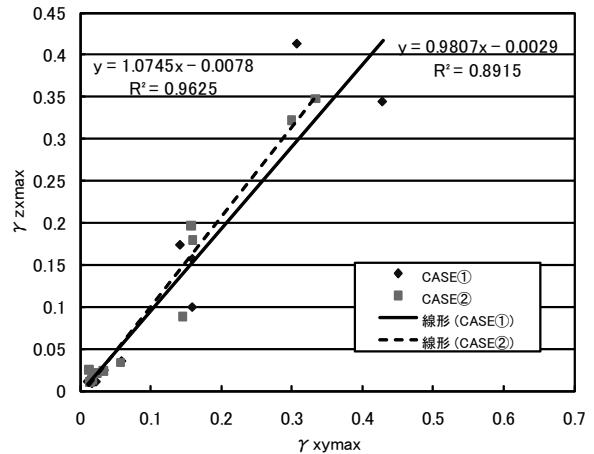


図-9 γ_{zxmax} と γ_{xymax} の関係

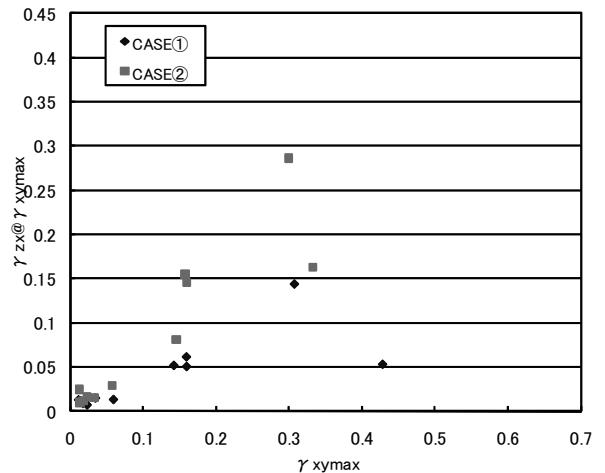


図-10 $\gamma_{zx@ \gamma_{xymax}}$ と γ_{xymax} の関係

次に γ_{zxmax} の発生場所に関する検討をする。

図-11 に剛性が変化する境界部から γ_{zxmax} が発生する標点までの距離 $L_{\gamma_{zx}}$ と加振周波数 f の関係を示す。同図より、加振周波数による $L_{\gamma_{zx}}$ の違いはあまりみられない。CASE②に関しては 16Hz 時の $L_{\gamma_{zx}}$ がマイナスとなっている、すなわち γ_{zxmax} が硬質地盤上で現れているということであるが、これは CASE②において硬質地盤・軟弱地盤ともに 1 次固有振動数は加振周波数より小さく、盛土天端に現れる波の形状が変化しているためである。

図-12 に $L_{\gamma_{zx}}$ と γ_{zxmax} との関係を示す。 γ_{zxmax} の発生する位置 $L_{\gamma_{zx}}$ に関しては、図-11 に関連して既に述べたように、CASE①では剛性変化境界部から軟弱地盤側に 10~40mm の範囲に、また CASE②に関しては 16Hz 時の点を除くと 40~60mm の範囲に集中している。CASE①と CASE②で若干 $L_{\gamma_{zx}}$ の値の範囲に違いが現れたが、これは硬質地盤の剛性の違いによる影響である。つまり、硬質地盤の剛性が小さい CASE②では盛土の挙動に対して CASE①よりも硬質地盤の影響が小さくなるため、軟弱地盤上の揺れに対して剛性変化部での拘束力がなくなり、その結果、振幅の傾きが変わったためだと考えられる。

図-13 に $L_{\gamma_{zx}}$ と振幅差 df の関係を示す。 $L_{\gamma_{zx}}$ がマイナスになっている CASE②の 16Hz を除くと、硬質地盤および軟弱地盤上の盛土天端の振幅の程度に関わらず、先ほどと同様にある一定の範囲内に $L_{\gamma_{zx}}$ が収まっているのがわかる。

つまり、延長方向のひずみ γ_{zx} が最大となる位置 $L_{\gamma_{zx}}$ は、盛土天端の振幅や振幅差の影響を受けず、盛土形状や硬質地盤の剛性増加による境界部の拘束の程度などの影響を受けていると考えられる。

以上のことから、鉛直方向の最大ひずみ $\gamma_{xy_{max}}$ を用いることにより、水平方向の最大ひずみ $\gamma_{zy_{max}}$ とその発生位置 ($\gamma_{zx_{max}}$ から $L_{\gamma_{zx}}$) の長さがある程度推測することが可能であると考えられる。

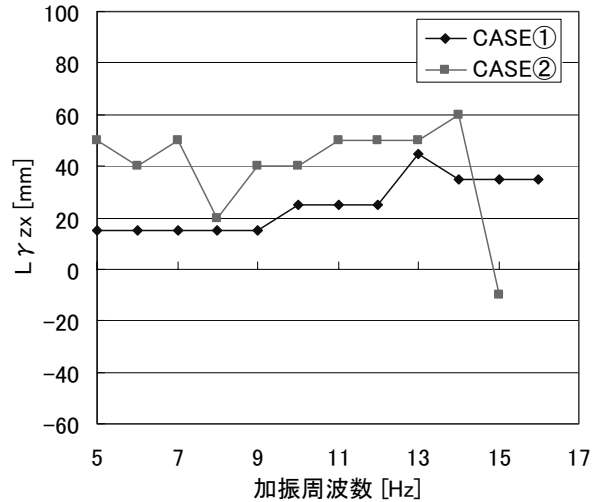


図-11 $L_{\gamma_{zx}}$ と加振振動数の関係

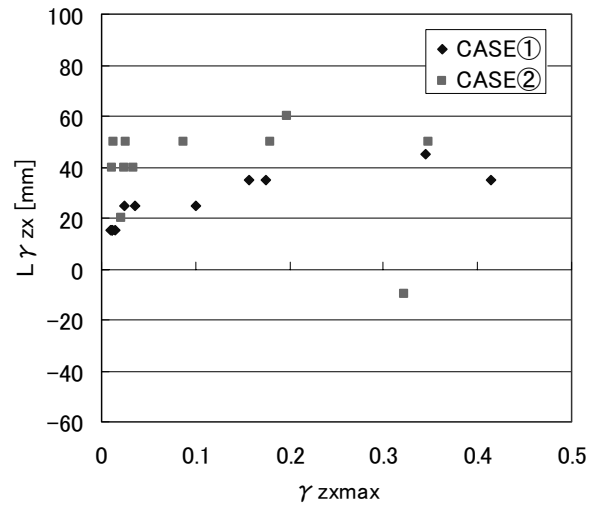


図-12 $L_{\gamma_{zx}}$ と γ_{zxmax} の関係

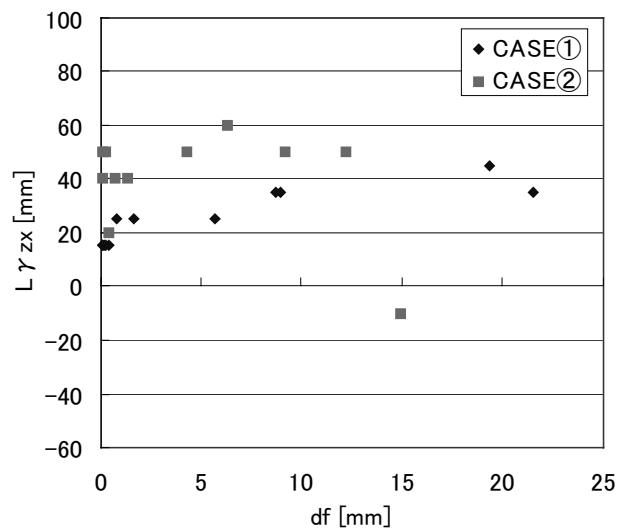


図-13 $L_{\gamma_{zx}}$ と df の関係

3.2 盛土天端延長方向のひずみ分布の推定法

次に、実験結果の分析を踏まえて、地盤の剛性が変化する境界部周辺における盛土天端のひずみおよび振幅分布を推定する方法を提案する。なお、相似則の検討において述べたように、定量的な評価は現時点では困難であるため、今後の検討の方向性を示す定性的な手法の提案であると理解されたい。

ひずみ γ_{zx} の分布を推定する式として、確率分布モデルの一つである正規分布の確率密度関数⁴⁾を応用した次式を用いる。

$$\gamma_{zx}(d) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\lambda} \exp\left\{-0.5\left(\frac{d-\kappa}{\lambda}\right)^2\right\} \quad (3)$$

ここで、 $A \cdot \kappa \cdot \lambda$ は γ_{xy} の値により変化するパラメータ、 d は剛性が変化する境界部からの距離である。ここで、上式を用いた根拠は特にないが、後述するように実験結果のひずみ分布の形状と正規分布が比較的類似していたことと、パラメータの物理的意味を比較的明瞭にあたえることができることが主な理由である。なお、パラメータについて、 A はひずみの絶対的な大きさのレベルを、 κ はひずみのピークが境界からどの程度はずれた位置にあるかを、 λ はひずみがどの程度広範囲に分布するか（ひずみの集中の程度）をそれぞれ示している。すなわち、2種の地盤材料が接している境界部において、以下のプロセスによりひずみ分布を近似的に求めることが可能となる。まず、それぞれの地盤材料のみが存在すると仮定した条件における振幅の大きさから、想定されるひずみの絶対的な大きさを求め、これをパラメータ A とする。次に、2種の材料の愚性の違いおよび盛土の形状から、ひずみのピークの発生位置に関するパラメータ κ とひずみの分布範囲に関するパラメータ λ が推定できるとする。このとき、境界部全域にわたり、式(3)よりひずみ分布が推定できる。

なお、本研究では後述のように、今回の実験結果は2種の材料の剛性の違いおよび盛土の形状ではなく、ひずみが最も大きくなる材料における盛土の最大せん断ひずみのみから、後者のひずみのピークの発生位置に関するパラメータ κ とひずみの分布範囲に関するパラメータ λ が推定可能である可能性を示している。

今回(3)式の適用性の検討では、CASE①の各振動数ごとの軟弱地盤上の盛土天端で正の方向に最大振幅 A_{m-max} が発生した瞬間の γ_{zx} のデータを比較対象として用いる。また、図-9を基に議論した通り、鉛直方向の最大ひずみ $\gamma_{xy_{max}}$ と $\gamma_{zx_{max}}$ には関係があるため、 $\gamma_{xy_{max}}$ から各パラメータを推定することを考える。図-14に(3)式で用いられるパラメータ $A \cdot \kappa \cdot \lambda$ の3つと $\gamma_{xy_{max}}$ との関係を示す。なお、同図に示すこの3つのパラメータは、予め(3)式を各振動数ごとの実験データにフィッティングさせて求めた値である。

同図 a)より κ および λ については、 $\gamma_{xy_{max}}$ とある程度関係性が存在する。また、同図 b)より A についてはより関係性が強いと見なせそうである。これらの関係性を活かして3つのパラメータを推定する。具体的には図-14にも示したとおり、次式を推定式として提案する。

$$\kappa = 67.045 \gamma_{xy_{max}}^{0.3173} \quad (4)$$

$$\lambda = 47.855 \gamma_{xy_{max}}^{0.3773} \quad (5)$$

$$A = 116.44 \gamma_{xy_{max}}^{1.4395} \quad (6)$$

図-15に各振動数ごとの実験データと式(3)によりフィッティングした盛土天端のひずみ分布ならびに式(4)~(6)で推定したパラメータを利用して式(3)で描いた盛土天端のひずみ分布(提案式)を示す。

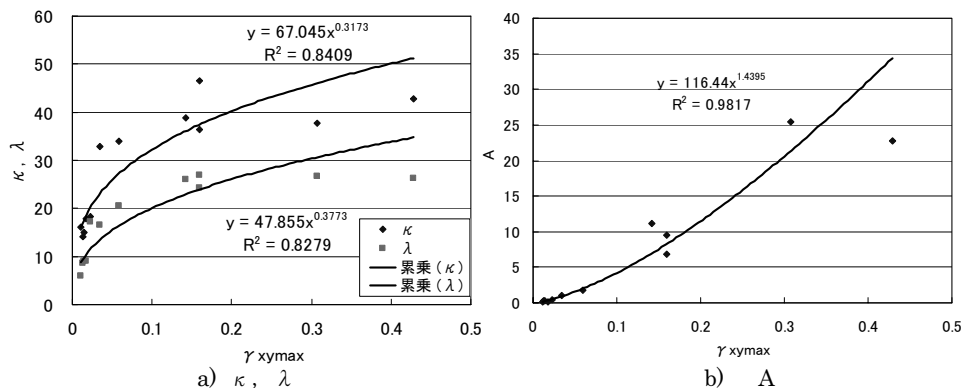


図-14 $\gamma_{xy_{max}}$ によるパラメータの推定

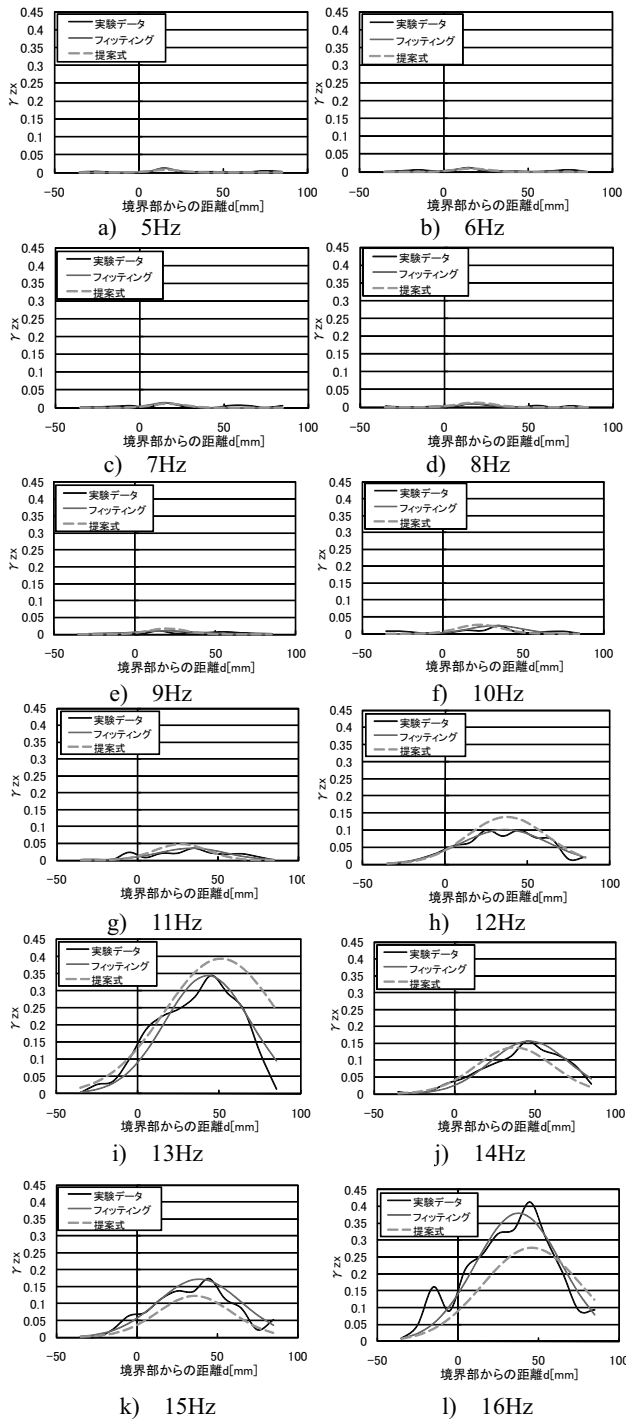


図-15 加振振動数ごとに推定したひずみ分布

図-15では軸の大きさを統一しているため、加振周波数が低いときは γ_{zx} も小さな値となっている。しかし、軸を拡大した場合、若干ひずみの大きさやその位置などにズレが生じている。ただし、これらの加振振動数では計測した振幅の値も小さく、誤差の影響が大きいため、ある程度の誤差が生じてしまってもしかたがないとも考えられる。

以上から、高い精度とまでは言えないものの、推定したひずみ分布は、ある程度実験データと整合しており、ひず

み分布の推定ができていものと言える。なお、この式によって推定したパラメータの適用範囲はこの実験の場合のみであり、かつ提案式の適用範囲も盛土の固有振動数以下の振動数を対象とする。従って、実際の地震動の様に不規則波が入力し、盛土が共振状態ではない場合のひずみ分布については今後の課題であるが、今回の知見は今後の検討の方向性を与えるものであると考えている。

4 まとめ

本研究では切盛境での盛土のひずみ分布について検討を行った。得られた結論を以下に示す。

- 1) 盛土の一次固有振動数以下の加振振動数では、盛土の共振状態では、地盤剛性が変化する境界付近で位相が等しく振幅が変化する。一方、一次固有振動数を越える加振周波数では、硬質地盤および軟弱地盤上の盛土の振幅に位相差が生じる。
- 2) 剛性変化の境界部から延長方向の最大せん断ひずみ γ_{zxmax} が発生する場所までの距離 $L_{\gamma_{zx}}$ については、一次固有振動数以下の加振条件では、境界部から軟弱地盤側に少しずれたところで発生しており、どの加振振動数でもほぼ同様である。
- 3) 盛土天端に現れるひずみ(γ_{zx})の分布は、一次固有振動数以下の加振条件では正規分布で近似できる。

本研究は、実盛土への適用に関しては、地盤材料の拘束圧依存性等も考慮した、さらなる実験的検証が必要である。

参考文献

- 1) 土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会：盛土等土構造物の耐震性能と設計法，土木構造物の耐震設計法に関する第3次提言と解説，土木学会，Chapter8，pp.29-34，2000。
- 2) 若松加寿江，今村遼平，足立勝治：1993年釧路沖地震による緑ヶ丘地区の構造物被害と地形改変との関係，第29回土質工学研究発表会平成6年度発表講演集，pp.987-990
- 3) たとえば石原研而：土質動力学の基礎，鹿島出版社，pp.85-106，1998。
- 4) たとえば春名攻，池淵周一，亀田弘行：新体系土工学 2 確率・統計解析，技報堂出版，pp.43-47，1979。

(2009年6月29日 受付)

