

常時および地震時における石積み（ブロック）擁壁の

安全性検討方法に関する一考察（その2）

A study on the safety investigation method of masonry (block) retaining walls at ordinary and earthquake (Part 2)

松葉 美晴^{*}、長谷部 要^{**}、谷井 豊^{**}、小田嶋 裕^{***}

Matsuba Yoshiharu, Hasebe Kaname, Tanii Yutaka, Odazima Yu

^{*}正会員、技術士、株式会社 和建設事務所・新潟（〒950-0087 新潟市中央区東大通 2-5-1）

^{**}株式会社 和建設事務所・新潟（〒950-0087 新潟市中央区東大通 2-5-1）

^{***}RCCM、株式会社 和建設事務所・本社（〒160-0023 東京都新宿区西新宿 3-2-11）

Key Words : 示力線解法、仮想投影底版、擁壁背面の地盤反力、レベル2地震動、裏込め材の沈下

Key words: force line method, virtual projection bottom plate, ground reaction force behind the retaining wall, level 2 ground motion, sinking of backfill material

1.研究概要

現在、石積み（ブロック）擁壁に関しては、構造物としての明確な安全性の確認方法がなく、所謂、「経験に基づく設計法」における標準断面形状の範囲であれば、実際の現場では使用してよいとされている。（道路土工 擁壁工指針「平成24年度版」P170～。）しかしながら、現場での使用範囲は、結構曖昧で、場合によっては、この範疇を超える擁壁形状で独自に運用している自治体もあり、設計上、その評価が分かれることがしばしば見られるところである。

よって、本研究では、既存の計算方法と現行の擁壁計算方法などを比較して、それらの得失を明確にし、誰にでも簡単に検証できる安全性の確認方法を新たに考案・提案するものである。また、現行では必要ないといわれる条件（＝地震時）にも適用し、既往の動的実験結果を参考に、レベルII対応にも可能となる具体的な補強方法に関して実務式の誘導を、敢えて試みることにした。

2.ブロック積み（石積みも含め）の破壊モード

資料文献²⁾（資料2.間知石による石積みの動的挙動）によれば、地震時の崩壊変形モードは、下記の2種類になるといわれている。基礎地盤が堅固な場合は、いわゆる「はらみだし崩壊」であり、基礎地盤が軟弱な場合は、「滑り出し崩壊」である。 ※ただし、その他の破壊モードはここでは取り上げないこととする。例：

吸出し効果によるブロックはがれ等。

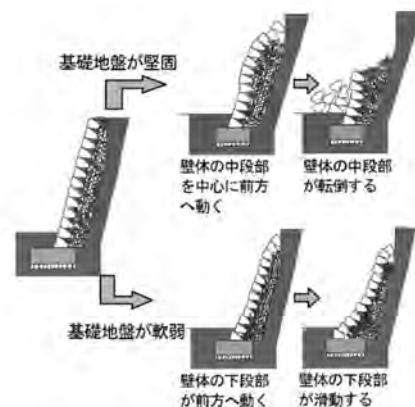


図1.ブロック積みの破壊メカニズムと変形モード

しかしながら、現在の設計方法（示力線法や通常の安定計算法）では、上記のような崩壊変形モードの検討を行うことが出来ないでいる。多くは、慣例に基づいた標準設計と言うことで、数値計算による評価が明確には出せない状況での使用となる。

従って、設計箇所の各種の状況に応じた、ブロック積み擁壁の安定性の確認が出来ないでいるのが現状であり、構造に不安を抱きながらの設計となることが多く見られる。それゆえ、ブロック積みを採用せず、他の工法に変更することが多々見られることになり、経済性を無視することになる。

以上から、ここでは、現地条件にあった簡易な設計方法で安全性の確認方法を模索し、その設計方法で、既存の慣例による標準設計の安全性を検証するもので

ある。

3.示力線解析と通常の安定計算

文献¹⁾によれば、示力線解析法は、昭和25年に岡積博士によって提案されたもので、石積み擁壁に適用するように開発されたものと思われるが、提示されている計算式を変形整理すると、通常の安定計算で用いられる「躯体自重の抵抗モーメントと、背面土圧による転倒モーメントとの釣り合いから算出される自重の作用位置」が検討断面位置での核内にあるかどうかと言う検討方法であるとの事である。

$$X_h X_k = \frac{\frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \frac{1}{3} \cdot h}{\gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec} \theta_0 \cdot h} + \frac{K_A \cdot q \cdot h \cdot \frac{h}{2}}{\gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec} \theta_0 \cdot h} + \frac{\gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec} \theta_0 \cdot h \cdot \frac{h}{2} \cdot \cot \theta_0}{\gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec} \theta_0 \cdot h}$$

ここで、 $M_1 = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \frac{1}{3} \cdot h$ とおくと
 $M_2 = K_A \cdot q \cdot h \cdot \frac{h}{2}$
 $W = \gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec} \theta_0 \cdot h$

M1：土圧によるモーメント、M2：上載荷重によるモーメント、W：石積み躯体重量 となり、

$$X_h = \frac{M_1}{W} + \frac{M_2}{W} - \frac{W \cdot \frac{h}{2} \cdot \cot \theta_0}{W} + h \cdot \cot \theta_0$$

と変形することが出来る。さらに、

$$M_3 = W \cdot \frac{h}{2} \cdot \cot \theta_0$$

とすれば、 $X = (M_1 + M_2 - M_3) / W$ は、石積み擁壁底面中央からの作用点までの距離であり、一般の擁壁における安定計算で転倒に関する検証をする場合の「合力の作用位置」に他ならない。

従って、石積み擁壁の安定計算は、擁壁自重による「抵抗モーメント M_r 」と、背面土圧による「転倒モーメント M_o 」との釣り合いから求められる「合力の作用位置：X」で、擁壁の安定性の検証をすることを基本とする。

4.新しい計算方法の誘導

ブロック積み擁壁に関して言えば、背面にある土塊が、壁との境界斜面で（安定角になるように）崩壊しようとするのを、擁壁の自重で、その土の崩壊を抑えるということである。反対に、ブロック積みから言えば、凭れて倒れかかっている躯体自重（鉛直荷重）を、

擁壁底面と擁壁背面のふたつの接触面の土で支えられている、ということになる。

※ 従って、ここでは、背面土圧は「主動土圧」と定義する事が出来る。

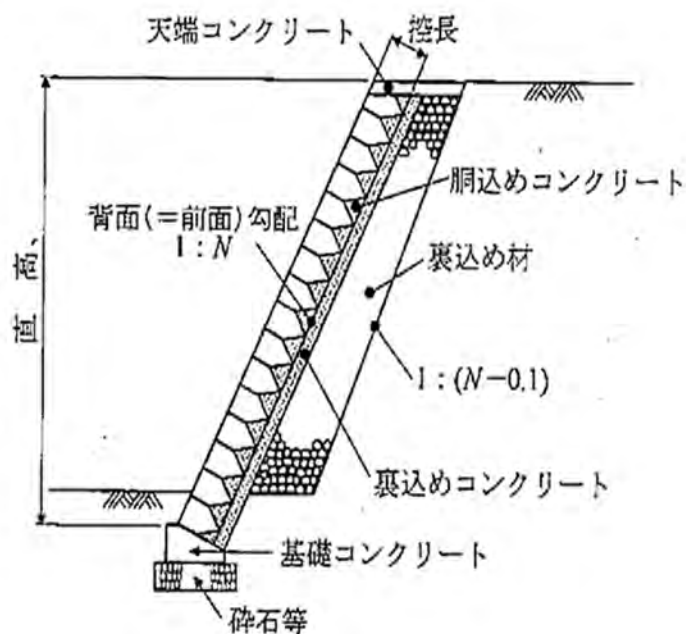


図2. 標準的なブロック積み擁壁の構造と名称
 (注、上図は文献2より転用した)

擁壁の自重は鉛直下方向の荷重なので、土の支え（反力）方向も鉛直上方向であり、その範囲は擁壁の水平面への投影面積となる。

以上を受け、水平投影面に発生する反力は、擁壁自重によるものと、背面土圧によるものとの合成反力と考えることが出来るため、擁壁の底面先端の隅各部を中心点として自重と土圧によるモーメントの釣り合いをから、合力の作用位置と、地盤反力を求めるものとする。

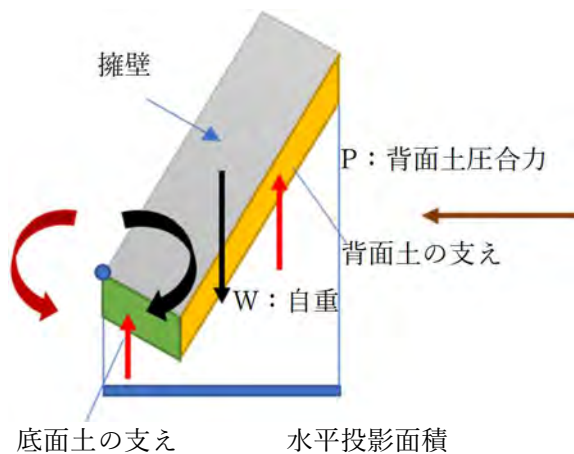


図3. 一般的なブロック積み擁壁の力の釣り合い

水平投影面積での地盤反力を、今、仮想地盤反力と呼べば、その仮想地盤反力を、擁壁底面および擁壁背

面に投影し、その斜面への鉛直分力をそれぞれの接触面での地盤反力と見なすことが出来る。

(擁壁の二つの斜面への外力と見なせる)

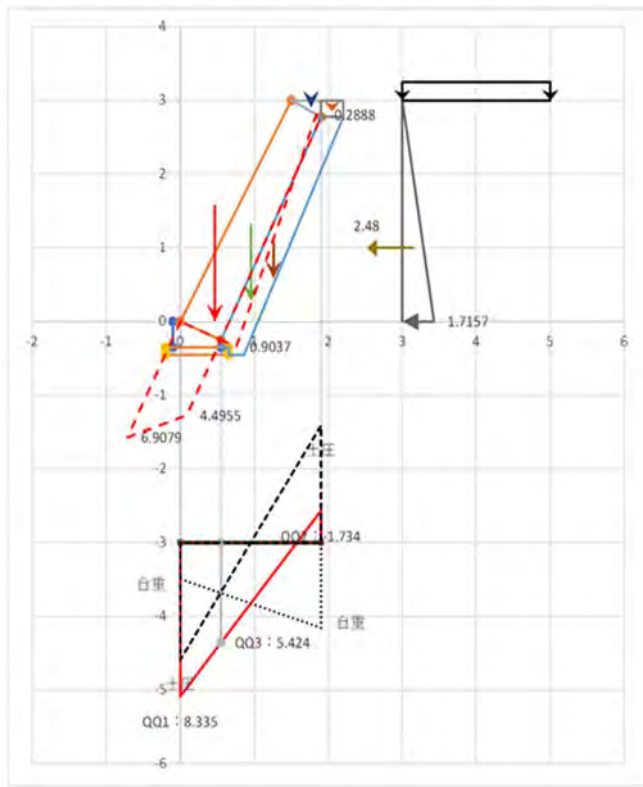


図4.仮想地盤反力と躯体側面反力

この背面からの外力によって生じる応力、即ち反力による擁壁の曲げモーメントが算出できることになる。

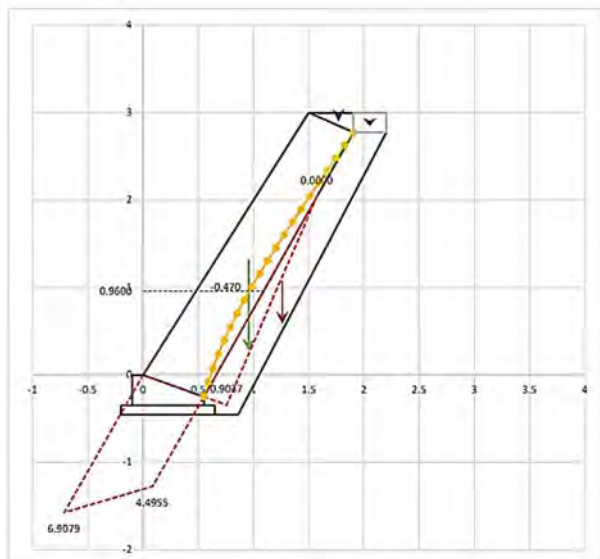


図5.壁背面反力による擁壁躯体の曲げモーメント

以上を受け、擁壁の各安定性の判定基準を下記のように考えることとする。

1) 転倒に対する安全性の判定

①擁壁前面への転倒判定

(判定基準)：作用位置 X が、底面の核の範囲より短い場合は、「前への転倒」と見なす。

②擁壁背面への転倒判定

(判定基準)：背面には、裏込め材や背面土があるため、地盤が強固な場合は、倒れるということとは有り得ない。しかし、仮想投影底版の核の範囲外に合力の作用位置が来た場合は、擁壁底面が浮き上がる可能性があるため(負の地盤反力が発生する)、「背面への転倒」と定義する。⇒ この場合、後述するが、擁壁の「滑り出し破壊」へと進む可能性がある。

2) 滑動に対する安全性の判定

(判定基準)：擁壁を前に押し出す力は、背面土圧であるが、前項に示したように、自重との釣り合いで、最終的には、斜辺に掛かる地盤反力が躯体に働く力となる。

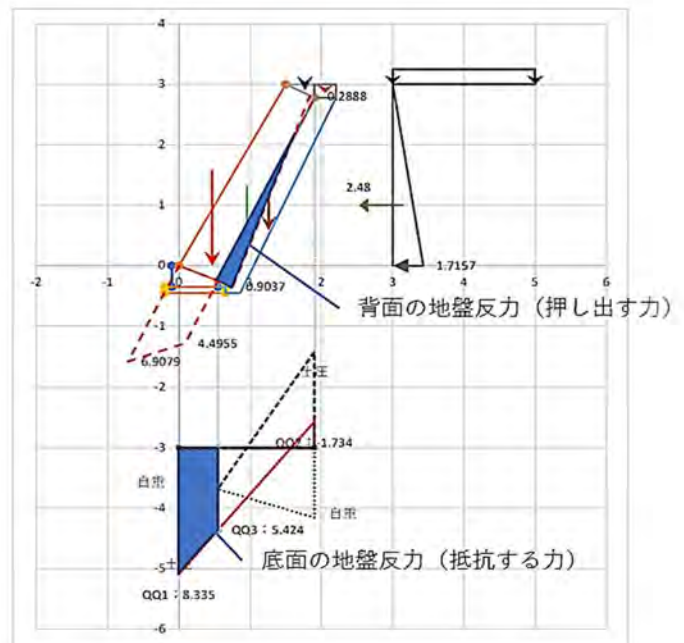


図6.活動に関する安全性

従って、擁壁を押し出す力 (ΣHH) は、背面に働く地盤反力の水平成分の合力であり、それに対抗する鉛直荷重は、擁壁底版に働く地盤反力の合力 ($\Sigma WW = QQ1 \sim QQ3$)で、この値に設置地面との摩擦係数を乗じたものが、滑動に対する抵抗量である。以上より、その安全率 F_f は、

$$F_f = \Sigma WW \times \mu / \Sigma HH$$

となる。

(擁壁基礎前面の受動土圧も安全性に寄与するので、必要に応じて、その抵抗力も加味することにする。)

5.構造計算方法

(1)構造計算： 従来の設計方法では、ブロック積み擁壁本体に掛かる応力は、検討されてこなかった。従って、施工される擁壁が、安全なのかどうかの判定がされることなく、擁壁設計が行われてきた。しかし、本設計法では、その躯体応力が計算できるので、その応力を用いて、擁壁自身の安全率を確認することが出来る。

その検討方法は、次のようにして行う。

安定計算で計算される擁壁背面の地盤反力（擁壁に垂直な力）を用いて、擁壁全体を単純梁として、それに台形もしくは三角荷重（地盤反力）が負荷された場合の梁の応力を算定する。その発生応力に対して、躯体（ブロック積み擁壁）が、抵抗できるかどうかを判定することとする。

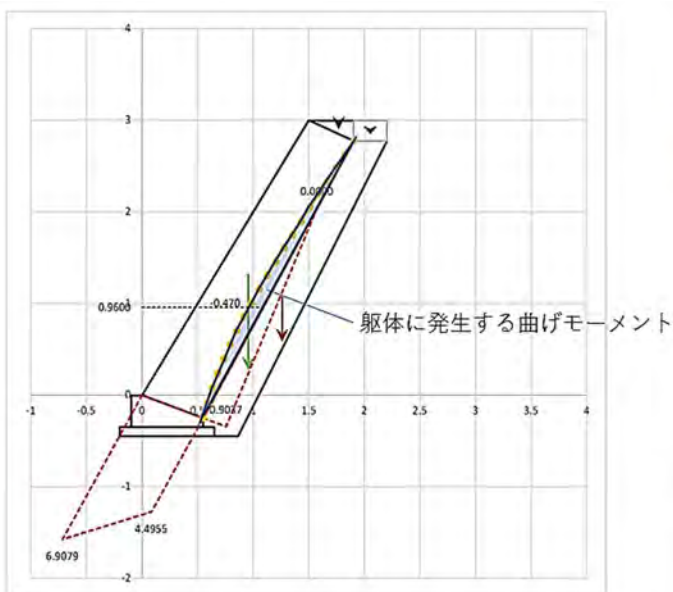


図 7.壁背面反力による躯体の曲げモーメント

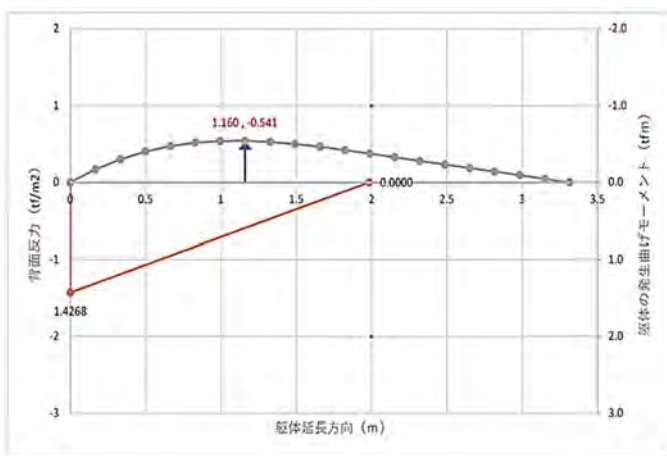
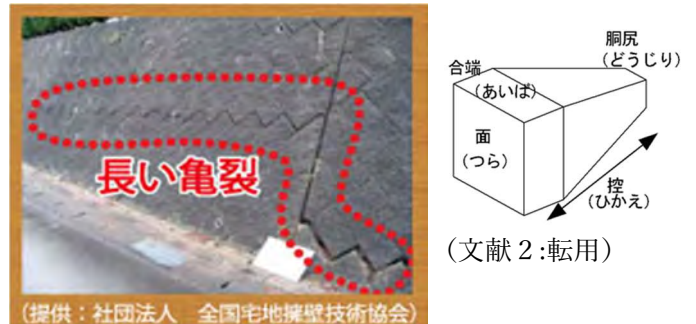


図 8. 躯体の曲げモーメントの計算例

曲げモーメントの形状を見る限り、擁壁の破壊モードである、「はらみ出し」を再現できているのではないかと考える。

擁壁の高さ方向の中央より少し下辺りに、最大の曲げが発生している状況が、現実のブロック積み擁壁のはらみ出し位置に近いように思われるからである。

(下図参照：webにて入手)

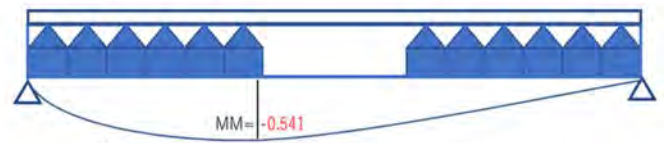


はらみ出し破壊形状

ブロック名称

図 9.はらみ出し破壊形状と標準ブロック形状

(2) 躯体の応力検討



ブロック積み擁壁は、胴込め・裏込めコンクリートでブロック間が結合されており、全体としては無筋コンクリート壁としての構造を示している。しかしながら、ブロック間の合端部分では連結はなく縁切りされており、その厚さは、控え長+裏込めコンクリート厚ではなく、それから、合端長を差し引いた部分が、外力に抵抗することになる。合端部分は、表面クラックとして部材としては寄与しない。

従って、ブロック積み擁壁の躯体としては、下図の部分の断面が、外力に抵抗するものとする。

断面高さ：

$$H = \text{控え長} + \text{裏込めコンクリート厚} - \text{合端厚さ}$$

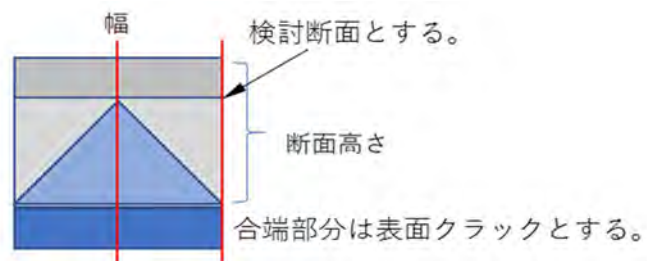


図 10.ブロック積み擁壁の抵抗（有効）断面

上記の中で、後打ちコンクリート部分の断面を検討断面として、採用する。理由は、ブロックを含む断面は、二次製品の形状により断面構成が複雑で、ブロックの抜け出し防止の形状も見られること及び断面高さ

も合端部分が加味できるのため、断面構成としては、強度のある断面と見なせること、などの理由による。

また、無筋コンクリートの曲げ許容値は、次式の通りとする。

$$\sigma_{ca} = \sigma_{ck} / 7$$

躯体の発生応力は、上記許容値を超える場合は、はらみ出しが発生するものと捕らえることとする。よって、この場合は、裏込めコンクリートの厚みを変え、耐力の増強を図るものとする。

6.地震時の検討方法

紙面の都合により、ここでは、筆者らが、種々検討した計算方法の結果のみを示すものとする。

1) 地震慣性力が擁壁前面に働く場合

①背面土圧

文献2および文献4によれば、擁壁および背面土の境界では、地震慣性力が働いても、応力の増加は認められないということである。(これは、裏込め材と背面土との境界では付加加速度が無くなり、新たな応力が発生しないものと考えられる)。よって、設計では、背面土圧は「常時」と同じものとする。

②擁壁躯体の慣性力

擁壁前面には、なにも擁壁の挙動を制限するものがないので、慣性力が働くものとする。

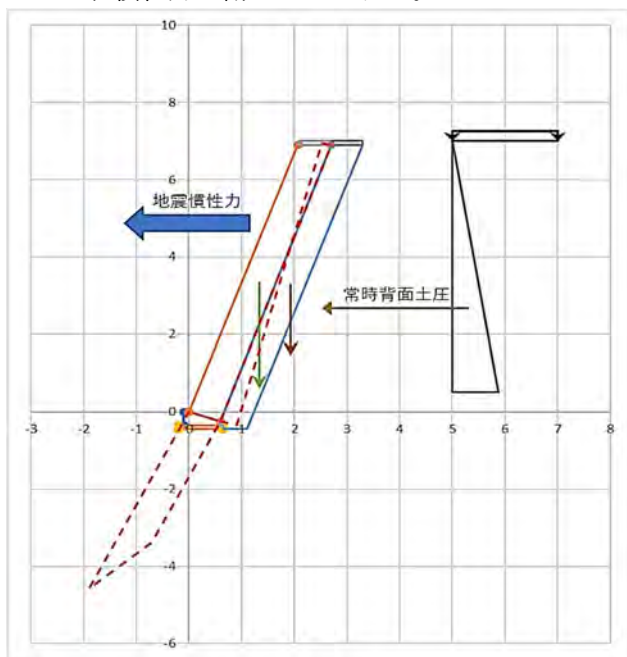


図 11.擁壁前面へ地震慣性力が働く場合の検討

以上の条件で、常時と同じ様に安全性の検討を行うものとする。(慣性力は、レベル I、レベル II とも検討

する。)

試算によれば、レベル I 程度では、慣例による擁壁形状では、転倒はしないか、または合力が底面の前面ぎりぎりに来る程度であり、はらみ出しも発生しないと思われる。しかし、レベル II (加速度を 400gal~700gal) とすると、合力は、一気に、底版を超え擁壁前面に位置するようになり、擁壁が剛体であれば、完全に転倒する。これを防ぐには、擁壁を背面土にアンカー留めする必要がある。(本提案の設計法では、アンカー配置およびアンカー力なども計算することが可能となる。)

2) 地震慣性力が擁壁背面に働く場合

①背面土圧

前項と同じく、地震慣性力の大きさに関係なく背面土圧は、「常時」と同じものとする。

②擁壁躯体の慣性力

既存の実験結果からは、擁壁の破壊はこの状態の時に発生するようである。

これは、地震による交番荷重の影響で、擁壁躯体と背面土との慣性力反応方向が合わなくなり、裏込め材が、鉛直方向に沈下し水平方向に膨らむため、躯体上部に隙間が生じて、躯体単独で慣性力を受ける状態になるためと考えられる。

交番荷重を静的荷重に置き換えることは困難であるが、ここでは、上記の状態を考慮して下記のように考えることとする。

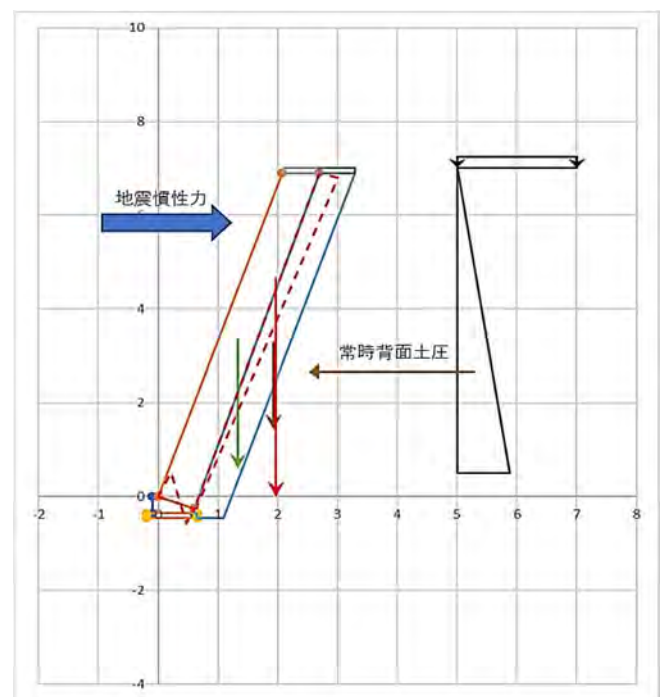


図 12.擁壁背面へ地震慣性力が働く場合の検討

