

残置山留壁を考慮した地下構造物横断方向の地震時動的応答特性

九州大学大学院工学府 学生員 ○井手智明
九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚久哲

1. はじめに

昨今、都市部では、地下空間の高度利用を目途とし、より軟質地盤に、また、より深い位置に構造物を構築する傾向にある。このため、開削トンネルにおいても、施工時における安全性や周辺地盤の沈下防止を目的として、例えば柱列式ソイル壁(SMW)や連続地中壁など、剛性の高い山留壁を採用する場合が多い。このような山留壁は、その構造上、地表面付近の一部を除き、施工終了時においても残置することとなるが、開削工法による地下構造物横断方向の耐震設計は、一般に、構造部材として評価する躯体本体のみを対象としており、残置山留壁を考慮することは少なく、非構造部材としての取り扱いとなっている。

そこで、いくつかのケースを対象に、地震時における残置山留壁が地下構造物の耐震性に及ぼす影響を定量的に評価する。

2. 解析条件および解析ケース

本研究におけるFEM動的解析の解析条件は文献²⁾で掲載されているものと同じであるが、ここでは概要を再掲する。粘性土(N 値=3, $G=3.3 \times 10^4$ (kN/m²), $\gamma=15.7$ (kN/m³))を想定した表層地盤厚30mの単一層地盤を対象とし、構造物は土被り5mの位置に設置される矩形断面のものとした。山留壁は鋼矢板(H鋼: $E=2.1 \times 10^8$ (kN/m²))を対象に線形部材とした。解析パラメータを図-1に示す。山留壁の構造物からの離隔を2m, 1m, 0.5m, 0mとし、長さは地表から15mと20m位置まで根入れしたものを用いた。非線形特性としては、地盤は修正R-Oモデルを、構造物はトリリニア型骨格曲線と修正武田型復元力特性をそれぞれ採用した。入力地震動は基盤波をモデル下面から入力させるものとし、兵庫県南部地震において神戸大学にて観測されたEW成分(max:305gal)の振幅を1~4倍と増加させたものを検討対象にした。

3. 解析結果

図-2に自由地盤の上下床版位置での最大相対変位発生時刻(以下、着目時刻と称する)における、地震動1倍時、離隔1m、長さ15mのケースの変形図を示す。図に示すように、山留壁の存在によって、構造物全体系のせん断変形が抑制されていることが分かる。図-3に離隔と塑性率の関係を示す。離隔が小さくなるにつれ、側壁の塑性率は低下するものの、上下床版では逆に塑性率が増加する傾向にある。また中壁の塑性率は、他の部材に比べて離隔の影響は小さいものの、離隔が小さいほうが塑性率は若干低下している。これら損傷分布の変化は、図-2に示したように、構造物全体系のせん断変形が抑制されたことにより、側壁の曲げ変形が緩和される。一方、側壁と上下床版との隅角部は、その直角形状を維持しようとする。そのために、上下床版は、相対的に剛性の高い側壁の挙動に支配され、大きな曲率で曲げられ、損傷に至るものと考えられる。また、山留壁長さが20mから15mへと短く変化させた場合でも、側壁の塑性率は低下し、床版の塑性率は増加する傾向にあることを別途確認している。これは長さが短くなることで山留壁の変形が小さくなり、せん断変形を抑制したのと考えられる。

次に、構造物全体系のせん断変形が抑制されるメカニズムを探るために、構造物に変形をもたらす地震時外力のうち、相互作用力に着目する。図-4

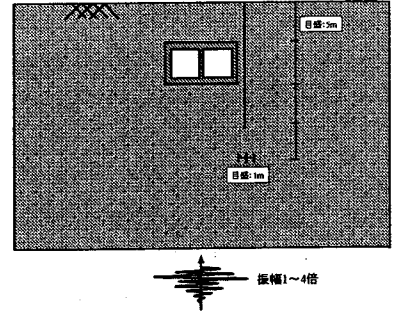


図-1 解析パラメータ

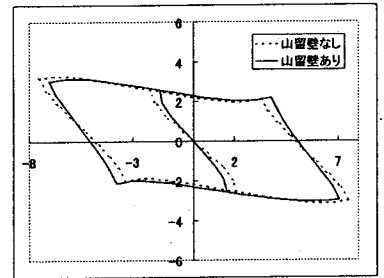


図-2 変形図

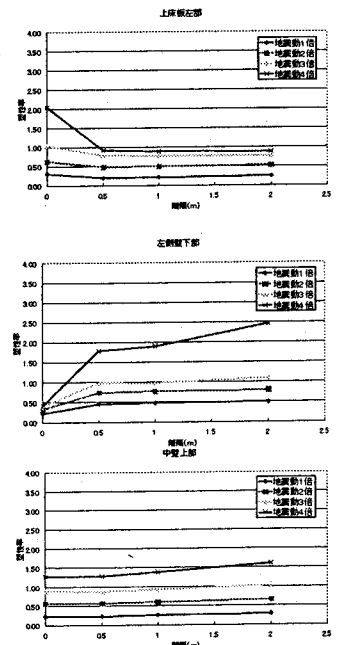


図-3 離隔-塑性率関係

に着目時刻での、地震動1倍時における、山留壁が無いケースと、離隔1m、長さ15mのケースの相互作用力分布図を示す。図に示すように、部材に対して接線方向の相互作用力は、山留壁が有るケースがわずかながら増大しており、構造物のせん断変形を促進させる方向に作用している。一方、部材に対して法線方向の相互作用力も山留壁があるケースでは、せん断変形を抑制する方向に増大しており、この結果、構造物全体系のせん断変形が抑制されたものと考えられる。

次に、山留壁の有無により相互作用力に差が生じたことについて考察する。図-5に地震動1倍時、山留壁長15mのケースでの、着目時刻における左側壁位置水平方向の地盤変位分布を示す。図に示すように、下床版位置以下では山留壁の有無によらず分布は同じであるが、下床版位置より浅い位置では山留壁の有無により分布が相違しており、特に上床版位置以浅では分布形状の相違が顕著である。図-6に地震動1倍での山留壁がないケースと、離隔1m、長さ15mのケースの左上床版近傍における地盤履歴を示す。図に示すように山留壁が有るケースでせん断ひずみが増大しており、図-5の分布形状と対応している。図-7に左側壁近傍における地盤履歴を示す。こちらは逆に山留壁が有るほうがせん断ひずみは小さくなっており、山留壁と構造物に挟まれたことによるせん断変形の拘束効果によるものと考えられる。この拘束効果によって、側壁近傍の地盤の剛性は、上床版位置以浅の地盤に比して高いために、拘束効果の影響の小さい上床版位置以浅の地盤は、それ以深の地盤のものと相違した挙動を示したのと考えられる。図-8に左下床版近傍における地盤履歴を示す。こちらは山留壁の有無によってあまり相違は見られず、図-5の変位分布と対応していることが分かる。よって、相互作用力の相違について考察すると、山留壁のあるケースでは、上床版近傍地盤のせん断ひずみに起因して、構造物全体系のせん断変形は促進されようとする(=接線方向相互作用力)。一方、側壁近傍の地盤ひずみは逆にせん断変形を抑制しようとし、その結果、上床版と側壁とのせん断ひずみの差分に起因した反力(=法線方向相互作用力)が、せん断変形を促進させる方向とは逆に作用したのと考えられる。

4. 考察

本研究では、残置山留壁が地震時における地下構造物の挙動に及ぼす影響について検討を行い、構造物周辺の地盤ひずみの変化に起因して、相互作用力が相違し、構造物全体系のせん断変形は抑制されることで、構造物の損傷の程度や分布に相違が見られることが分かった。この傾向は離隔が小さくなるほど、山留壁長さが短くなるほど顕著である。このように山留壁の有無によって地盤ひずみが相違することから、合理的な耐震設計を精度良く行うには、これら近傍地盤の挙動の評価を適切に行う必要がある。また、山留壁による構造物全体系のせん断変形の低減によって、中壁の損傷が免れることから、山留壁の存在は、中壁損傷に起因した構造物の崩壊に対しては有利に働くことになると考えられる。

参考文献

- (1) (社)土木学会トンネル工学委員会：開削トンネルの耐震設計、p247-303
- (2) 村井和彦、大塚久哲、矢野直：地震時における地下構造物横断方向の変形と外力に關する基礎的考察、構造工学論文集 Vol.46A、2000.3

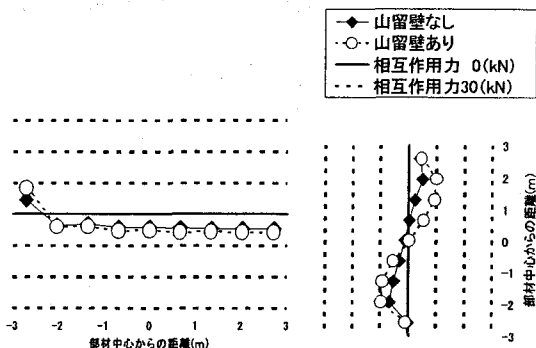


図-4 相互作用力分布図
(左：上床版接線方向、右：左側壁法線方向)

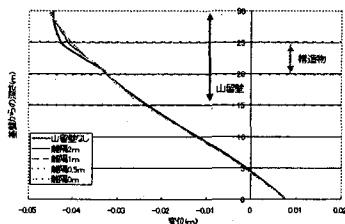


図-5 地盤水平変位分布図

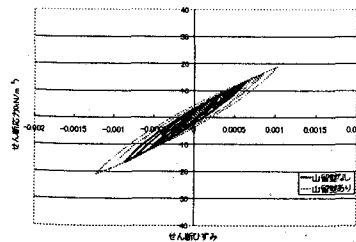


図-6 左上床版近傍地盤履歴

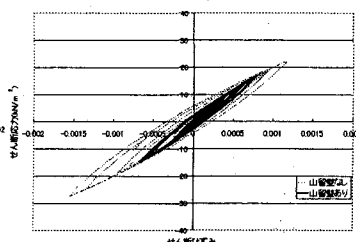


図-7 左側壁近傍地盤履歴

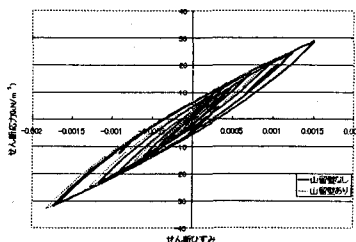


図-8 左下床版近傍地盤履歴