

浅く埋設された地下構造物の耐震補強に関する地震応答計算

早稲田大学 学生会員 ○矢部 祐樹
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. 目的 兵庫県南部地震以前の耐震設計基準において、地下構造物に関して特に関心が払われず、耐震設計が省略されていた場合も多かった。しかしながら、兵庫県南部地震において地下構造物に甚大な被害が発生したことを受けて、新設する地下構造物および現在使用中である既設の地下構造物の耐震性について考慮する必要が出てきた。過去に建設された共同溝、地下街、地下駐車場、地下駅舎など比較的浅い位置にある地下構造物に対する検討は不十分で、多くの浅い既設地中 RC 構造物はレベル 2 地震動に対して所定の耐震性能を満たすことが難しいと指摘されている。そこで、本研究では実在の浅い地下構造物である既設地下共同溝の地中 RC 構造物を対象に、汎用プログラム TDAPⅢを用いた FEM 動的解析によって耐震性を評価した。また、それらの結果を踏まえて高強度コンクリートの充填による共同溝側壁の耐震補強対策を提案し有効性を確認した。

2. 解析モデル 今回検討の対象とした共同溝は、幅 8.45m、高さ 6m、奥行き 1m の鉄筋コンクリート製である。側壁の地盤側には D19、D22 が、内空側には D22、D25 が交互に 7.5cm 間隔で配筋されている。上下床壁の地盤側には D25 が 7.5cm 間隔で、内空側には D25 が 15cm 間隔で配筋されている。せん断補強筋は配置されていない。表層地盤は層厚が 7.5m の砂地盤で N 値 8、内部摩擦角 30° とゆるい状況である。共同溝の下層は岩地盤で N 値 50 以上、内部摩擦角 45° である。図-1 に示すように共同溝本体は非線形二次元はり要素で地盤は二次元平面ひずみモデル化した。はり要素は非線形性を武田モデルのトリリニアモデルで再現している。地盤の非線形性について、Ramberg-Osgood モデルによって表現した。一方、耐震補強工法に関しては、鉄筋コンクリート部内への内側からのせん断補強筋挿入、コンクリートの増打、周辺地盤の改良などの工法が既に提案されている。今回対象とした共同溝は内部および周辺が既に利用されており、これらの工法の採用が難しいので今回新たな工法を提案した。すなわち図-2 に示すように土被りが殆どないことから地表面よりウォータージェットによって既設コンクリートの側壁部を鉛直方向に掘削し、鉄筋を切断することなく $35\text{cm} \times 40\text{cm}$ の穴を底版位置まで開けて設計基準強度 90N/mm^2 、ヤング率 38KN/mm^2 の高強度コンクリートを充填して補強した。これは共同溝内に液体が存在したり機器や配管があり作業困難な場合等でも容易に作業可能であり、周辺地盤を掘削や改良する必要がない。側壁部のせん断補強は、既存コンクリートと充填コンクリートを今回単純にそれぞれの面積とコンクリートの性状を考慮して次式で換算した。この式により側壁のはりとしてのせん断強度を土木学会での提案式により算定した。強度が不足する場合には鋼材の補強も可能である。

$$E = \frac{E_1 A_1 + E_2 A_2}{A_1 + A_2} \quad (1) \quad \text{ここに、} E_1 : \text{既設コンクリートのヤング率、} E_2 : \text{充填コンクリートのヤング率、}$$

A_1 : 既設コンクリートの占める面積、 A_2 : 充填コンクリートの占める面積とする。入力地震動には、1994 年北海道東方沖地震及び東北地方沖太平洋地震 (k-net 高萩) での加速度記録で観測された地震動を用いる。前者の最大加速度は 438.52Gal である。図-3 に示す高萩の最大加速度は 588Gal である。

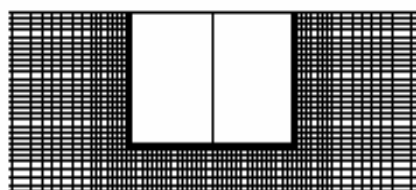


図-1 有限要素メッシュ

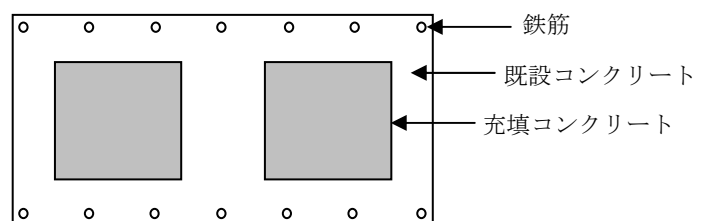


図-2 せん断補強の概念 (充填後の側壁上面より)

キーワード 地下構造物、せん断補強、充填コンクリート、地震応答計算

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学研究科清宮研究室 TEL 03-5286-3852

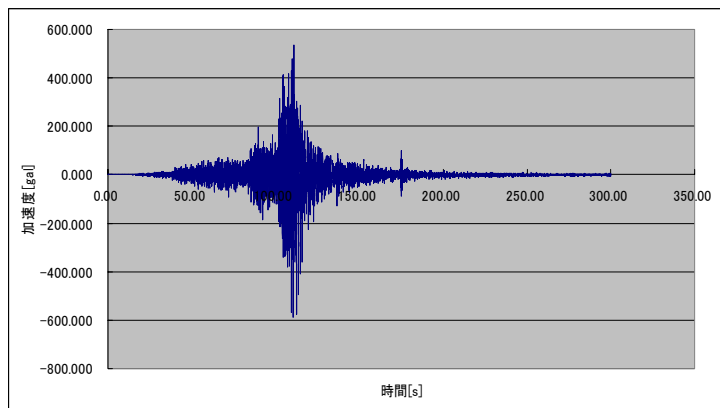


図-3 入力加速度記録(東北地方沖太平洋地震、高萩 K-NET より)

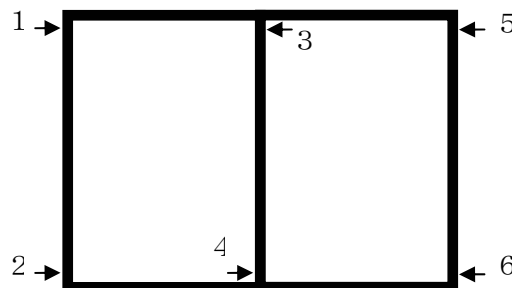


図-4 照査位置

3. 解析結果 図-4 に示す 6 ヶ所(照査番号 1~6)において発生せん断力の計算を行い、せん断耐力と比較する。北海道東北沖地震の場合の部材での発生せん断力分布を図-5 にせん断力の時系列を図-6 にそれぞれ示す。この結果図-7 に示すように部材内の 2 ヶ所(照査位置 2、6)でせん断破壊が確認された。一方、高強度コンクリートの充填によるせん断補強後の照査においては、いずれの箇所でもせん断破壊は確認できなかった。東北地方沖太平洋地震でもほぼ同じ計算結果となった。

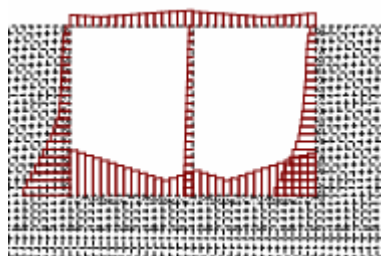


図-5 せん断力分布図

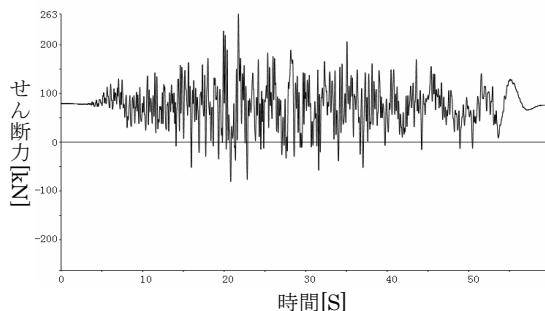


図-6 せん断力図(照査位置 2)

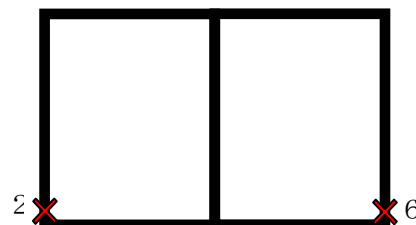


図-7 補強前のせん断破壊箇所

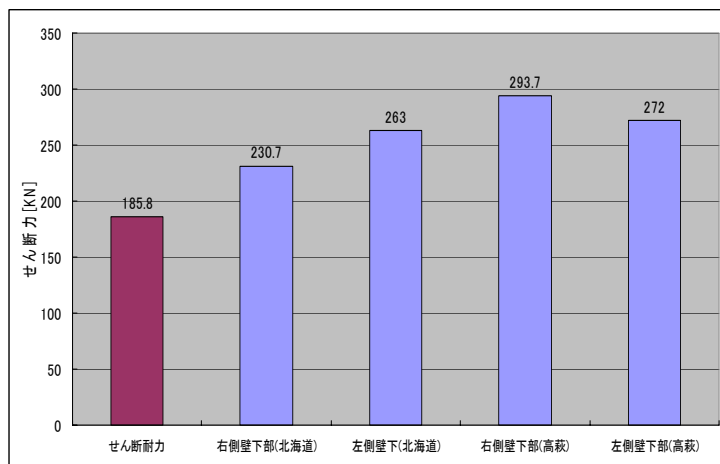


図-8 補強前のせん断耐力と発生せん断力

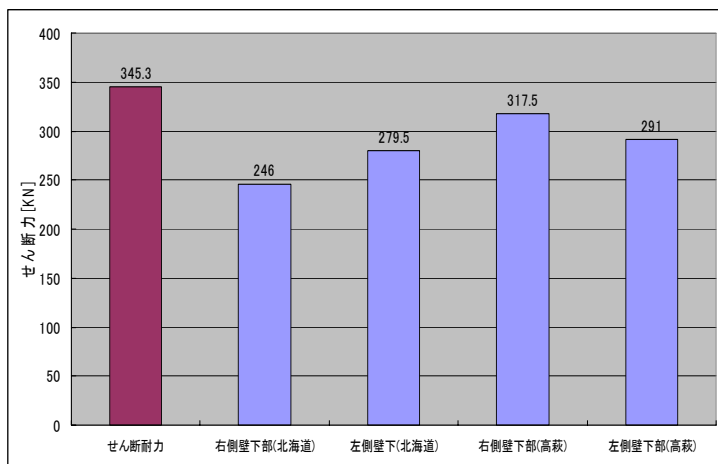


図-9 補強後のせん断耐力と発生せん断力

両入力地震波形での補強前及び補強後の発生せん断力とせん断耐力の関係を図-8 及び図-9 にそれぞれ示す。いずれの地震波形でも補強前はせん断破壊する結果となった。今回の補強工法を側壁に適用する事によりせん断耐力が増加し両地震動に対してせん断破壊が免れる計算結果となった。

4. 結論 今回計算対象とした部材のせん断耐力が十分でない地下共同溝では、選定したレベル 2 地震波形等で共同溝側壁にせん断破壊が生じる結果となった。今回地表面から掘削後に充填コンクリートを打ち込むせん断補強工法を取上げ有限要素法による動的応答計算を行った。この結果せん断破壊は部材に計算されなかった。今回の耐震補強策が有効に働いたと考えられる。なお現在この工法の耐荷力や施工性を模型実験により確認しており別途報告したい。なお入力地震動は<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>によるものである。