

断層変位を受ける地中 RC 構造物に対する人工軟岩材料の損傷抑制効果

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○山野井 悠翔
横浜国立大学 正会員 前川 宏一

1. はじめに

地中構造物にとって重大なハザードである断層変位に対しては、“変位に耐える”のではなく“変位を逃がす”対策が有効である。例えば柏崎刈羽原子力発電所で地盤改良材として敷設された人工軟岩材料¹⁾は、構造物への断層変位作用を緩和する効果が期待できる。本研究では免震材としての人工軟岩材料の有用性を検証することを目的とし、断層変位を想定した模型実験から実規模解析による損傷評価までを実施した。

2. 剛性急変部を有する部材のせん断破壊実験

図 1 に示すように、ダクトなどの岩着した地中構造物に逆断層変位が作用した際、RC 構造物の下に例えば人工軟岩のような弱層がある場合には、弱層でせん断帯が分散・分岐することで RC 構造物の損傷が緩和されると予測される。これを検証するために、強度が異なる複数層で構成された試験体のせん断破壊実験を実施した²⁾。試験体は岩盤を想定した圧縮強度約 100MPa の高強度コンクリート（下層）と、RC 構造物を想定した圧縮強度約 45MPa のコンクリート（上層）で構成される。人工軟岩を想定した弱層（圧縮強度約 8MPa）の有無で 2 つの試験体を作成した。荷重や変位の計測に加え、画像相関法を用いたひずみ分布計測も実施した。

図 2 に示すように、弱層が無い場合には全層均質な梁と同様に斜めひび割れが卓越したのに対し、弱層がある場合には弱層部分で損傷が卓越し、上下層の損傷の分散が見られた。弱層の存在により耐荷力は 2 割程度低下するが、最大耐荷力まで緩やかに剛性が低下することで、構造全体の靱性は向上した。実際の構造とは乖離があるものの、弱層の存在による損傷モードの変化を実験的に確認することができた。

3. コンクリートから地盤材料への遷移モデルの提案

実験後の弱層のひび割れ面を観察すると、セメントペーストは粉々になり、独立した骨材が散見された。コ

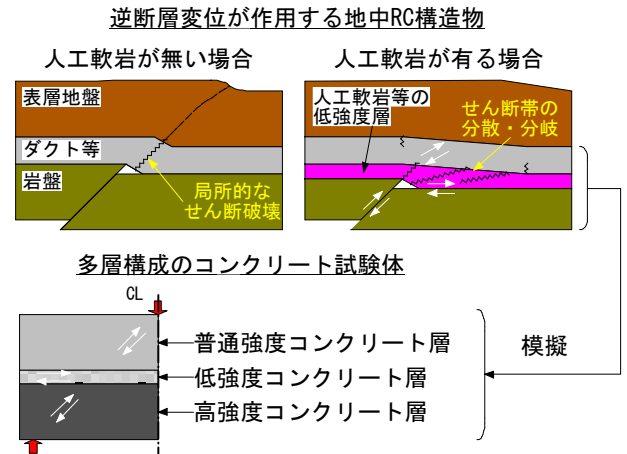
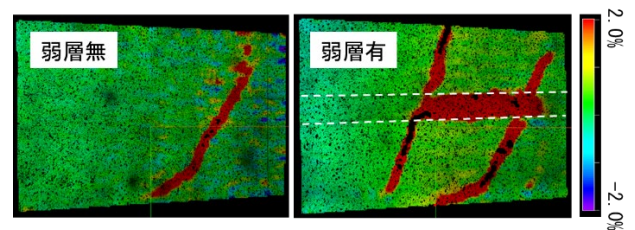
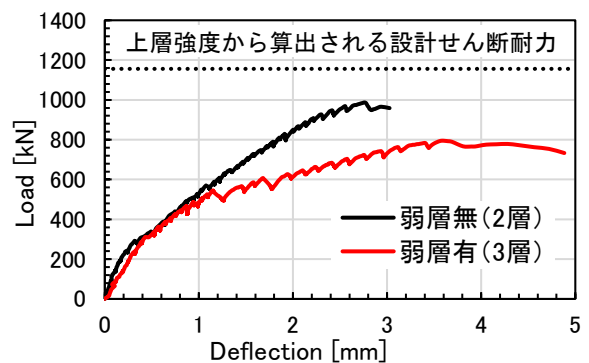


図 1 人工軟岩材料による損傷抑制効果のイメージと異種材料で構成される多層試験体とのアナロジー



(a) 画像解析より得られたせん断ひずみ分布



(b) 弱層の有無による荷重-変位関係の変化

図 2 実験結果

ンクリートのひび割れ面では主として骨材の噛み合わせによりせん断力が伝達される。この機構に基づき、ひび割れ面の幾何学形状を代表する接触面密度関数を用いたせん断伝達モデルが提案されている³⁾。しかし、圧

縮強度 15MP 以下のコンクリートはモデルの適用範囲外となる。破断面の観察から、弱層部はコンクリートの破壊とともに砂利化が進行したと推察した。そこで、コンクリートから地盤材料への物性の遷移を表す簡易的な構成モデルを考案し、次式で表した。

$$\sigma_{ij} = \sigma_{cij}(K) + (1 - K) \cdot \sigma_{sij} \quad (1)$$

ここで、 σ_{ij} は出力される応力テンソルであり、 $\sigma_{cij}(K)$ は多方向ひび割れを考慮できるコンクリート構成モデル³⁾から算出される応力、 σ_{sij} は摩擦則に従う完全弾塑性体と仮定して算出される応力である。 K はコンクリートの損傷程度を表すパラメータで、破壊に伴い1から0の値をとる。再現解析より、提案モデルは実験の耐荷力や損傷モードを精度良く表しており、従来モデルよりも解析精度は向上することが確認された(図3)。

4. 実規模モデルによる損傷抑制効果の検証

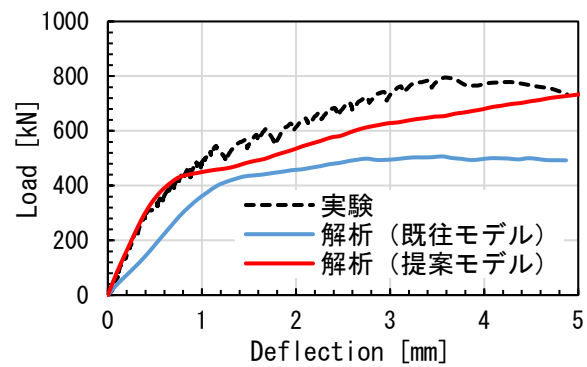
断層の走向とダクト軸が一致する理想的な条件(交差角0度)を想定した解析モデルを作成し、人工軟岩材料の損傷抑制効果を検証した。まず初めに、提案モデルを断層破碎帯面に適用した。断層破碎帯面は滑りと剥離を考慮できる接合要素でモデル化されることが多いが、提案モデルにおいて摩擦係数を低く設定することで、破碎帯部分をソリッド要素でモデル化することが可能となった(図4上図)。人工軟岩を想定した幅15m、深さ4mの低強度層を設けたところ、ダクトを避けるように弱層部でのせん断帯の分岐が確認された(図4下図)。ダクトの損傷に着目すると、最大主ひずみや層間変形角は大幅に低減されていた。本解析条件においては、圧縮強度がダクトと比較して極端に低い人工軟岩材料は、有効な逆断層変位対策となることが示された。

5. まとめと今後の展開

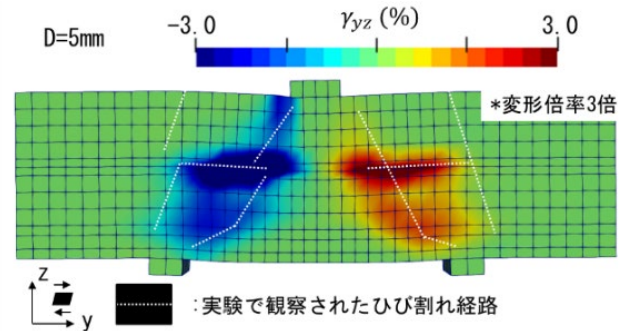
断層変位に対する免震材として人工軟岩に着目した。模擬実験により弱層によるせん断損傷の分岐・分散を確認し、砂利化を表す構成モデルを適用することで解析精度を向上させた。実規模解析によりダクトに対する損傷低減効果を定量的に評価した。三次元的に断層が交差する場合についても検証を進めていきたい。

謝辞

本研究は令和2年度土木学会吉田研究奨励賞を授与



(a) 荷重—変位関係の比較



(b) 弱層を有する際の損傷モード (提案モデル)

図3 実験結果と解析結果の比較

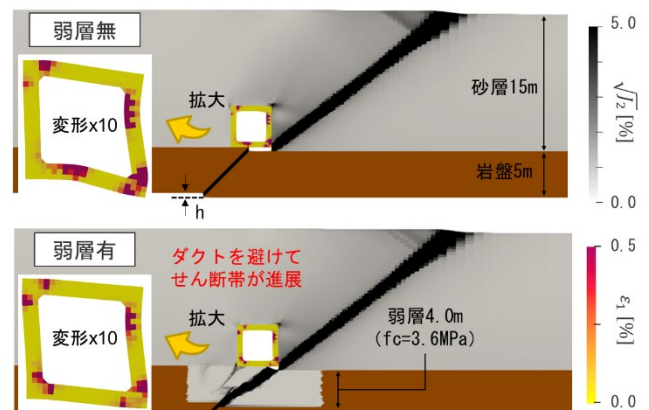


図4 実規模モデルでの有効性検証

された研究である。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 岸清：人工軟岩材料の開発，土木学会論文集 No.522/VI-28, pp.45-49, 1995.
- 2) Yamanoi, Y. and Maekawa, K.: Shear Bifurcation and Gravelization of Low-Strength Concrete, J. Adv. Concr. Technol., Vol. 18, pp. 767-777, 2020.
- 3) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, CRC Press, 2003.