



材料の損傷に基づく下水道施設の耐震性能評価

－地下構造物の合理的なせん断耐力評価手法の提案－

ナレッジフュージョン株式会社

概要

本作品は、要素寸法や材料の力学モデルに依存しない損傷指標を用いて、下水道施設における地下構造物の合理的なせん断耐力評価手法を提案するものである。地下構造物であるボックスカルバートの静的載荷実験を基に損傷指標の適用性を検討した上で、下水道施設の地下壁を対象にせん断耐力の評価を試みた。その結果、従来のせん断耐力式による評価よりも合理的に評価できることを示した。

損傷指標

引張損傷：偏差ひずみ第2不変量

$$\sqrt{J_2} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2}$$

圧縮損傷：正規化累化ひずみエネルギー

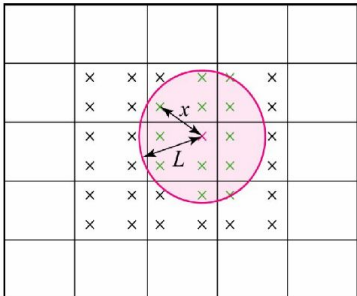
$$W_n = \frac{1}{f} \sum_{k=1}^n (\sigma_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij})^{(k)} = W_{n-1} + \frac{1}{f} \sigma_{ij}^{(n)} (\varepsilon_{ij}^{(n)} - \varepsilon_{ij}^{(n-1)})$$

平均化处理

$$\bar{D} = \frac{\int_A D \cdot w(x) dA}{\int_A w(x) dA} \quad w(x) = \begin{cases} 1-x/L & x \leq L \\ 0 & x > L \end{cases}$$

限界値

指標	限界値
引張損傷 $\sqrt{J_2}$	1000 μ
圧縮損傷 W_n	1500 μ



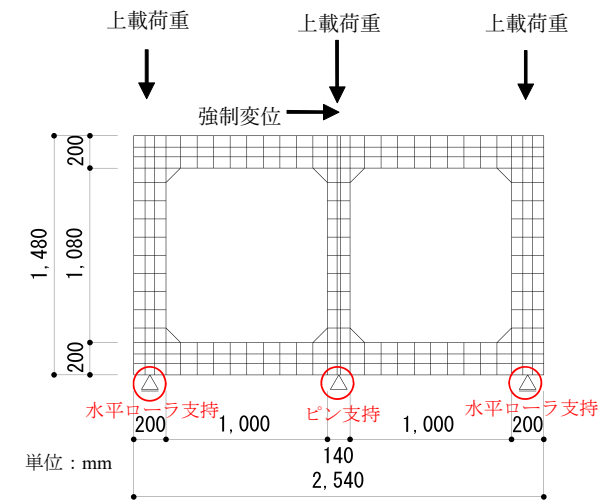
損傷指標の平均化の概念

[参考文献]

斉藤成彦, 牧剛史, 土屋智史, 渡邊忠朋: 非線形有限要素解析による RC はり部材の損傷評価, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造) Vol.67, No.2, pp. 166-180, 2011.

静的載荷実験に基づく損傷指標の適用性の検討

① 解析モデル



② 解析条件

解析プログラム：“WCOMD Studio”

使用要素：2次元8節点アイソパラメトリック平板要素

(2次元非線形 FEM モデル)

構成則：前川鉄筋コンクリート構成則

ひび割れモデル：試験体本体→分散ひび割れモデル

ハンチ始点位置→離散ひび割れモデル

載荷方法：一方向載荷（プッシュオーバー解析）

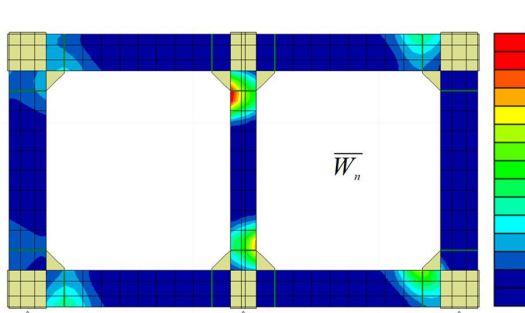
材料定数（コンクリート）

単位体積重量 (kN/m³)	弾性係数 (N/mm²)	圧縮強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	ポアソン比
21.0	1.76×10^4	22.0	1.44	0.173

材料定数（鉄筋）

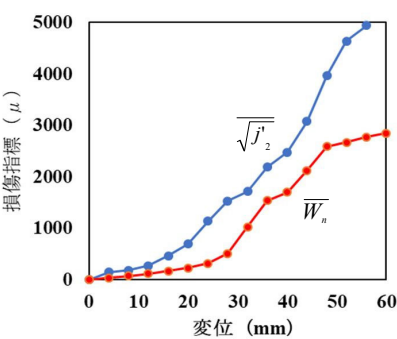
鉄筋種類 (SD345)	単位体積重量 (kN/m³)	弾性係数 (N/mm²)	降伏点応力 (N/mm²)	ポアソン比
D10(主筋)	77.0	1.88×10^5	348	0.284
D6(せん断補強筋)	77.0	1.77×10^5	368	0.284

③ 曲げ破壊型試験体の解析結果



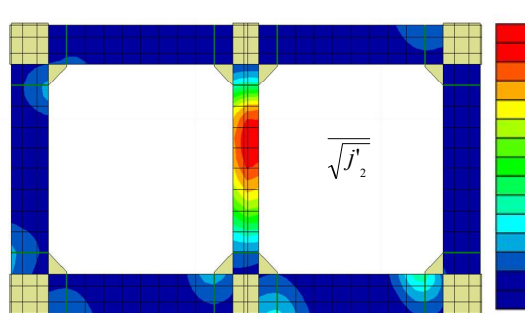
損傷指標のコンター図（曲げ破壊型）

W_n は隔壁の頭部および脚部で1500 μ を超えており、最大荷重に達した後、隔壁上下のコンクリートが剥落することにより荷重低下が生じたという実際の圧縮損傷をよく表現できている。



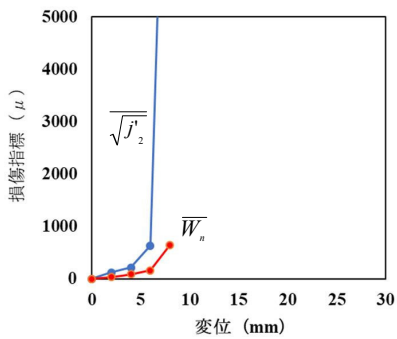
損傷指標－変位関係（曲げ破壊型）

④ せん断破壊型試験体の解析結果



損傷指標のコンター図（せん断破壊型）

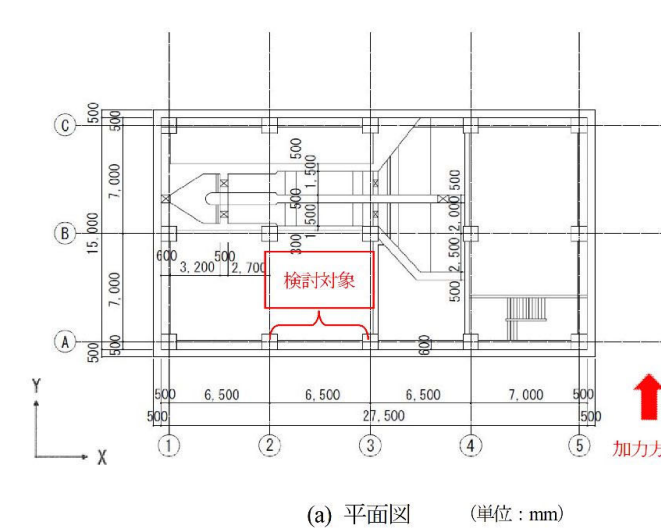
$\sqrt{J_2}$ は隔壁の広い範囲で1000 μ を超えており、隔壁で斜めひび割れが部材軸方向に沿って大きく開いて急激な荷重低下を起こしたという実際の斜めひび割れ損傷をよく表現できている。



損傷指標－変位関係（せん断破壊型）

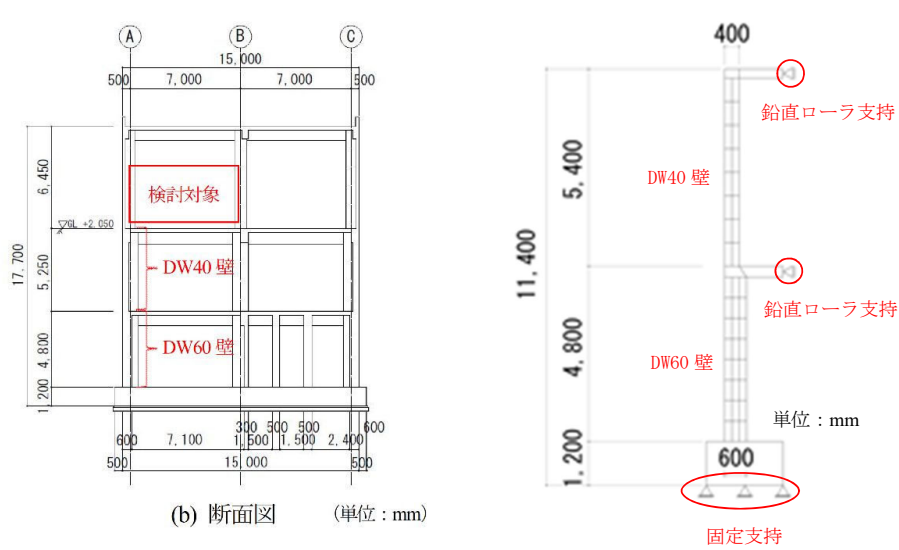
損傷指標を用いた地下構造物のせん断耐力評価

① 検討対象構造物



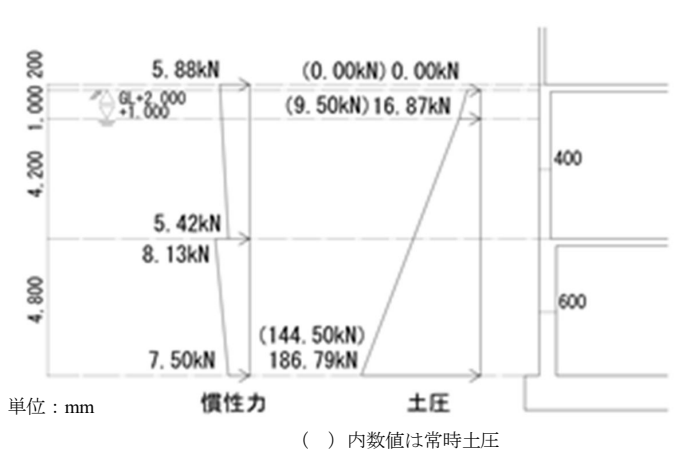
(a) 平面図 (単位：mm)

② 解析モデル



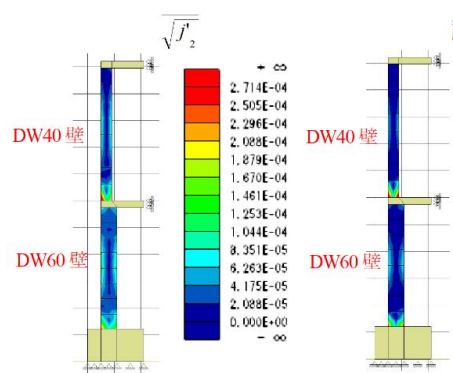
(b) 断面図 (単位：mm)

③ 設計荷重

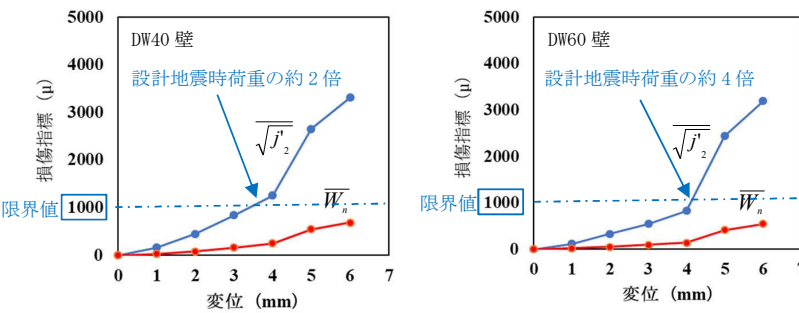


単位：mm () 内数値は常時土圧

④ 損傷指標のコンター図（設計荷重時）



⑤ 損傷指標を用いたせん断耐力評価



まとめ

- 地下構造物であるボックスカルバートの静的載荷実験を基に損傷指標の適用性を検討した結果、曲げ破壊型、せん断破壊型いずれの試験体についても損傷指標による評価は実験結果をよく再現しており、一方向載荷による検討において、損傷指標の適用性が確認できた。
- 下水道施設の地下壁を対象に、損傷指標を用いたせん断力の評価は従来のせん断耐力式による評価よりも合理的な評価となることを示した。
- 面外荷重を受ける地下構造物について、損傷指標を用いたせん断耐力の評価手法を提案した。本作品の検討対象構造物の場合、少なくとも設計地震時荷重の2倍程度のせん断耐力を有しているものと推察される。