

東京電力(株) 正員 日向 泰山
東電設計(株) 正員 栗原美津雄
大日本土木(株) 正員 上野 誠

1. はじめに

近年、高压地中送電線用設備は大深度化する傾向にあり、立坑の土留工として連続地中壁の比率が高まっている。立坑に作用する荷重や部材の耐力は不確実性を有しており、合理的な設計を行うためにはその不確実性評価が不可欠である。本報では立坑の信頼度解析に必要な荷重・耐力の不確実性評価について述べる。

2. 土留工に作用する荷重の不確実性評価

立坑掘削時に連続壁に作用する荷重の各パラメータの不確実性評価結果を表-1に示す。本報では、このうち支配的な荷重である側圧について述べる。主動側側圧は砂質土層で有効土圧（＝側圧－水圧）と水圧で、粘性土層で全土圧で評価し、土木学会データバンクなど連続壁での実測データを統計処理した。土圧推定式は、式（1）に示すランキン・レザール式が妥当であることが判明した。

$$\overline{Pa(z)} = (\bar{q} + \bar{\gamma} \cdot z) \tan^2(45^\circ - \frac{\bar{\phi}}{2}) - 2\bar{c} \cdot \tan(45^\circ - \frac{\bar{\phi}}{2}) \quad (1)$$

ここに、 $\bar{q}$ ：上載荷重 $\bar{\gamma}$ ：単位体積重量 z ：深さ $\bar{c}$ ：粘着力 $\bar{\phi}$ ：せん断抵抗角であり、 $\bar{}$ は平均値を意味する。図-1, 2は実測値と式(1)による推定値との差を深さで整理したものである。有効土圧、全土圧とも推定式のまわりにばらつき、変動幅も小さいため推定式は妥当といえる。また、深さ10m以浅では変動係数一定、10m以深では標準偏差一定というばらつきの傾向がみられる。水圧は実測水圧と地下水面からの静水圧の比で水圧係数 K_{aw} を定義し、データ処理した結果を図-3に示す。平均水圧係数 $\overline{K_{aw}}=0.56$ と静水圧に比べ低い値である。不透水層が挟在し掘削前から水圧が低いことに加え、掘削に伴う水位低下の影響によるものと考えられる。また、深さに関係なく水圧係数の標準偏差が一定というばらつきの傾向がみられる。以上より、側圧の不確実性を評価した結果を表-2に示す。なお、図-1～3に示されている平均値まわりの点線は、平均値（ μ ）土標準偏差（ σ ）の値を表す。

表-1 荷重パラメータの評価

荷重パラメータ	取扱区分	評価方法
主動側側圧	不確定量	表-2 参照
受動側側圧（弾性域）	不確定量	変形係数 E_s により不確定性評価
受動側側圧（塑性域）	不確定量	ランキン・レザールの受動土圧式を用い、 $C \cdot \phi$ のばらつきから不確実性を評価
切梁バネ定数	確定量	$K = \frac{E \cdot A}{b \cdot (L/2)}$
土の単位体積重量	確定量	土質調査平均値
上載荷重	確定量	$q = 1 \text{ t/m}^2$

表-2 主動側側圧の不確実性評価

	土質	深さ	平均値	ばらつき
土圧	砂質土	$Z \leq 10\text{m}$	ランキン・レザール式による	$\delta pa' = 1.0$
		$Z < 10\text{m}$	平均有効主動土圧 pa'	$\sigma pa' = 3 \text{ t/m}^2$
	粘性土	$Z \leq 10\text{m}$	ランキン・レザール式による	$\delta pa = 0.5$
		$Z < 10\text{m}$	平均全主動土圧 pa	$\sigma pa = 4 \text{ t/m}^2$
水圧	砂質土	—	平均水圧係数 $K_{aw} = 0.56$ による $P_w = K_{aw} \cdot Z$	$\sigma K_{aw} = 0.3$

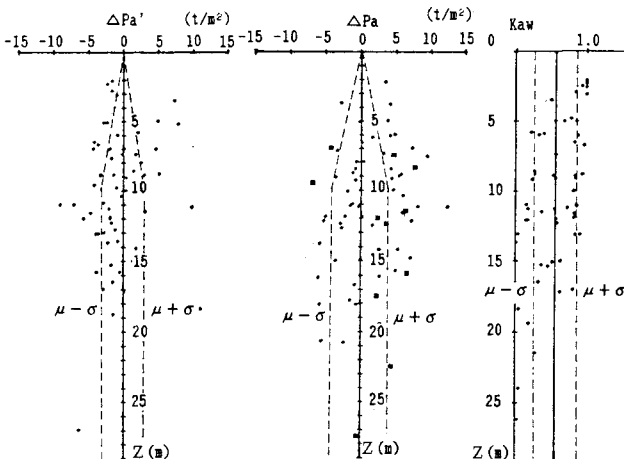


図-1 砂質土有効土圧差

図-2 粘性土全土圧差

図-3 水圧係数

注) δ ：変動係数、 σ ：標準偏差

3. 土留工の耐力算定パラメータの不確実性評価

連続壁（RC）、切梁、腹起し（H形鋼）の部材の破壊モードと耐力算定パラメータを表-3に示す。不確実性の要因として、材料物性値のばらつき、施工精度等が考えられるが、ここでは表中□で示したパラメータについて不確実性を評価した。

①材料物性値の不確実性：泥水中コンクリート、鉄筋、H形鋼の物性値について、平均値、変動係数、分布型（有意水準5%の χ^2 検定）の評価結果を表-4に示す。泥水中コンクリートは、掘削後のコアサンプリングによる実測例を統計処理した。圧縮強度は配合が異なる実測例を扱うため、セメント協会のセメント水比（c/w）と28日材令標準養生供試体強度との関係式で処理した。図-4に圧縮強度のデータの一例を示す。なお、サンプリング深さと強度の相関は、本検討の範囲内（GL-25m）ではあまり強くなかった（相関係数0.05~0.74）。鉄筋は文献2)の引張試験結果によった。H形鋼は、ミルテストに用いる鋼板片と形状が異なること、圧延H形鋼の場合に残留応力が存在することなどから、鋼板片と物性値を異にするといわれているため、短柱実験結果をもとに検討した。ただし、この実験例は標本数が少なくばらつきを検討するには不十分であるため、変動係数についてはミルテスト値も参考にした。

表-4 材料物性値の不確実性評価

材料特性			標本数	平均値 (kg/cm ²)	変動係数	分布形
泥水中コンクリート	圧縮強度		852	1.19・(-24+178C/W)	0.13	対数正規
	付着強度		149	1.45+45.2C/W	0.26	対数正規
	弾性係数		91	(1.30+0.84C/W)・10 ⁵	0.12	対数正規
鉄筋	引張降伏強度	SD30	4015	3690	0.06	対数正規
		SD35	16519	3960	0.05	対数正規
	弾性係数		26	1.95・10 ⁶	0.01	対数正規
H形鋼	圧縮降伏強度		28	2890	0.08	適合せず
	せん断強度		注)	1670	0.08	対数正規
	弾性係数		24	2.18・10 ⁶	0.08	対数正規

注) Von Mises の降伏条件を用い、圧縮降伏強度より算出。

②施工精度： 施工精度は、耐力に最も影響を与える連続壁の有効高さを取上げ、鉄筋籠のたて込みの不正確さとして評価した。つまり、鉄筋のかぶりを確保するためのスパーサーと地山間のクリアランスを片側5cmずつとし、鉄筋位置はその範囲内で一様分布すると考えた（図-5）。

4. おわりに

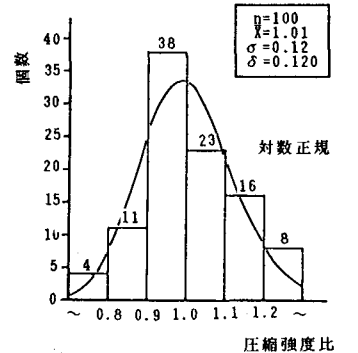
連続地中壁、切梁、腹起しで築造される立坑に作用する荷重、および各部材耐力の不確実性の評価方法と結果を示した。今後、荷重に関しては掘削側受働土圧、耐力に関しては耐力算定式の不確実性評価の精度向上が課題と考えられる。

＜参考文献＞

- 1) 土木学会：土留め壁土圧実測データ調査結果・最終報告、土木学会誌、Sep.1983
- 2) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計指針（案）、S 58

表-3 連続地中壁式土留工の部材の破壊モードと耐力算定パラメータ

部 材	破壊モード	耐力算定パラメータ
連続地中壁（RC）	曲げ軸力	コンクリート圧縮強度 鉄筋の引張降伏強度 鉄筋の弾性係数 有効高さ 鉄筋断面積 部材高さ 圧縮縁かぶり 軸方向力 耐力算定式の補正係数
	せん断	コンクリート圧縮強度 有効高さ 引張鉄筋比 引張発生限界モーメント 作用曲げモーメント 耐力算定式の補正係数
腹起し（H形鋼）	曲げせん断	降伏強度 せん断強度 ウェブ断面積 断面係数 耐力算定式の補正係数
	座屈	降伏強度 弾性係数 断面積 断面係数 断面2次半径 座屈長 耐力算定式の補正係数
切梁（H形鋼）	座屈	降伏強度 弾性係数 断面積 断面係数 断面2次半径 座屈長 フランジ幅 耐力算定式の補正係数



(= コア圧縮強度/28日標準養生供試体強度)

図-4 泥水中コンクリートの圧縮強度比の分布形の一部例

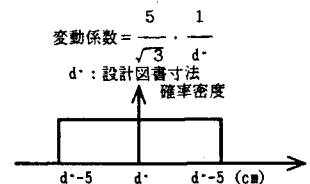


図-5 連続地中壁の有効高さ