

直轄事業に期待される技術開発とは？

四国地方整備局 次長

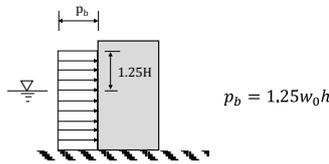
元野 一生

社会資本整備における技術開発は、現場での検証が不可欠である。整備する上で乗り越えなくてはならない技術課題に対して、自然現象をよく観察したうえで、一定の仮説を立て、それを室内試験やコンピュータシミュレーションで再現性を確認し一般化した理論を提案する。その理論を現地に適用し、外力に対する変化が想定範囲内であるかを検証し、不具合があれば修正していく。その地道な積み重ねの上に、技術が確立されていくのである。また従来の概念を大きく打ち破る理論がでてくると、社会資本整備の飛躍的な進展、いわゆるブレークスルーが図れる。

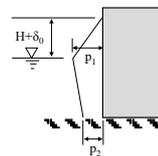


海洋土木の世界を例にとる。港は、荒れ狂う波に対抗できる堅固な防波堤や、船の大型化に対応できる大水深の岸壁が求められる。軟弱地盤であればその対策も求められる。

防波堤の設計は、波の作用力を的確に算定する必要がある。砕波では広井式、重複波ではサンプル式を使い分ける方法が標準であったが、いずれも昭和初期に提案されたもので、精度にも問題があった。国内の波浪観測と多くの室内試験を通して、1973年に波の不規則性を考慮した合田式が提案された。大水深、高波浪海域での港湾建設を可能とした。合田式は、今では世界で広く用いられる波力式となっている。



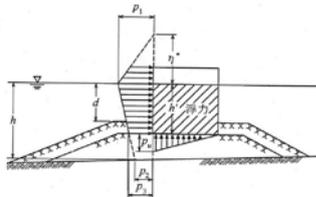
p_b : 砕波による波圧強度 (tf/m²)
 w_0 : 海水の単位体積重量 (tf/m³)
 H : 堤設置位置における進行波としての波高 (m)



$p_1 = (p_2 + w_0h) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right)$
 $p_2 = \frac{w_0H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}}$
 $\delta_0 = \frac{\pi H^2}{H \coth \frac{2\pi h}{L}}$
 p_1 : 壁面に波の山があるときの静水面における波圧強度 (tf/m²)
 p_2 : 壁面下端に置ける波圧強度 (tf/m²)
 w_0 : 海水の単位体積重量 (tf/m³)
 δ_0 : 壁面における波高中分面の静水面上の高さ (m)
 h : 壁体前面の水深 (m)
 H : 壁体設置位置における進行波としての波高 (m)
 L : 壁体設置位置における波長 (m)

広井式 (港湾構造物設計指針 昭和42年)

サンプル式 (港湾構造物設計指針 昭和42年)



$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta) \lambda_1 H_D$
 $p_1 = 0.5(1 + \cos \beta) (\alpha_1 \lambda_1 + \alpha_2 \lambda_2 \cos^2 \beta) \rho_0 g H_D$
 $p_2 = \frac{p_1}{\cosh \left(\frac{2\pi h}{L} \right)}$
 $p_3 = \alpha_3 p_3$
 $\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right\}^2$
 $\alpha_2 = \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2 \text{ と } \frac{2d}{H_D} \text{ のうち、いずれか小さい数値}$
 $\alpha_3 = 1 - \frac{h}{h} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right\}$
 $p_u = 0.5(1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \lambda_3 \rho_0 g H_D$

η^* : 静水面上で波圧強度が0となる高さ (m)
 p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)
 p_2 : 海底面における波圧強度 (kN/m²)
 p_3 : 直立壁の底面における波圧強度 (kN/m²)
 $\rho_0 g$: 水の単位体積重量 (kN/m³)
 β : 波の主方向から $\pm 15^\circ$ の範囲内で最も危険な方向と直立壁の法線の垂線がなす角度 ($^\circ$)
 λ_1, λ_2 : 波圧の補正係数 (標準は1.0)
 h : 直立壁の前面における水深 (m)
 L : 水深 h において計算に用いる次に示す波長 (m)
 最高波の波長で、有義波周期に対応する波長
 H_0 : 計算に用いる波高 (m)
 最高波の波高で、次に掲げる波高
 $H_0 = H_{max} = 1.8H_{1/3}$
 H_{max} : 直立壁の前面水深における進行波としての最高波高 (m)
 $H_{1/3}$: 直立壁の前面水深における進行波としての有義波高 (m)
 h_b : 直立壁の前面から沖側へ有義波高の5倍の地点における水深 (m)
 d : マウンドの根詰め工又は被覆工の天端のうち、いずれか浅い水深 (m)
 h : 直立壁の底面の水深 (m)
 p_u : 直立壁の底面に作用する揚圧力 (kN/m²)
 λ_3 : 揚圧力の補正係数 (標準は1.0)

合田式 (港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年)

沿岸に軟弱地盤が広がるわが国では、各種の圧密排水工法、締固め工法、固化工法が開発されてきた。特に、1994年に関西国際空港が大阪湾泉州沖に建設されたが、世界で始めて洪積粘土層の圧密沈下を経験することになった。予測手法も提案された。この知見は、香港やシンガポールなどの土地の狭隘な都市に海上空港など海洋開発の道を開いた。



関西国際空港（国土交通省 大阪航空局 HPより）

これらの世界に通用する技術の開発には、国の研究機関、直轄組織と施工力を有する民間事業者が協力して取り組んできた。新しい技術を取り入れ施設を建設し、それが風浪や地震に耐えられるかを検証し、技術の確立を図ってきたのである。

さて、前置きが長くなったが、現在、四国ではこういった技術開発が求められるのであろうか？

喫緊の課題として、東日本大震災の教訓を踏まえた南海トラフ地震・津波を想定した施設の強靱化である。四国の太平洋側の港湾では、津波の流体力を考慮した防波堤の強化に着手した。高知港浦戸湾では、沖合防波堤、湾口の堤防等、湾内の防潮護岸等の3つのラインにより、津波のエネルギーを面的に減衰させ、市街地への津波の侵入を防ぐ「三重防護」の整備が進む。いずれも世界で初めての取り組みであり、強靱化のモデルとなるよう成功させなくてはならない。



浦戸湾の三重防護

次に、建設生産システムの生産性の向上である。生産性を向上させることで、建設産業従事者の不足を補い、また魅力的な産業に変革していくことである。たとえば、ドローンやGPSなど最新の測位システムによる効率的な施工管理、人工知能（AI）の導入による工事の危険予知や浚渫工など経験に頼る施工分野への適用など、最先端の技術開発を取り入れるべきである。

また、これらの技術開発にあたって、企業や個人の創造力を積極的に活用するべきである。直轄事業において、新たなテーマ設定を積極的に行い、技術開発のリスクを担保するなど、企業の創造力を発揮しやすい環境を整えることが必要と考える。