

VI-110

沈埋函の水圧接合時の函体の挙動予測について

首都高速道路公団	正 柄川伸一
首都高速道路公団	正 横山正史
川崎航路トンネル作業所	正 清水 徹
川崎航路トンネル作業所	森井定和
○大成建設（株）	正 高久雅喜

1. 概説

沈埋トンネルは、数箇の函体を順次沈め、接合することによりトンネルを作る工法である。沈埋トンネルの函体間の接合には、接合する函体間（バルクヘッド）の水を排除し、外水圧とバルクヘッド内水圧の差を利用して接合を行う水圧接合工法が従来より用いられている。しかしながら、水圧接合には函体の移動が伴うが、水圧接合時の函体の挙動について数値的に予測することは試みられていなかった。著者らは、首都高速道路公団において施工中の高速湾岸線川崎航路トンネル1号函の沈設に先立ち、沈埋函の水圧接合状況をモデル化し、運動方程式により、水圧接合時の沈埋函の挙動予測をおこなった。本稿では、この予測手法を紹介し、予測値と川崎航路トンネル1号函における実測値とを比較する。

2. 川崎航路トンネル1号函の水圧接合手順

水圧接合手順は次の通りである。（図1参照）(1)立坑側のジャッキにより函体を引寄せ、ゴムガスケットのノーズ部を圧縮し、バルクヘッド内の海水と外海水を遮断する。(2)エアインテイクよりエアインテイク位置の水圧が0になるまで排水する。この時、ゴムガスケットの圧縮量は設計圧縮量の90%程度となる。（以下、水圧接合①）(3)排水パイプより残りの水を排水し、接合を完了する。

（以下、水圧接合②）

3. 予測手法

上述のように、水圧接合①で大方の函体の移動が終了する。従って、本稿では函体の挙動予測を水圧接合①について行う。

1) 基本式

水圧接合時の函体挙動は次の運動方程式を解くことで得られる。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P_o - P_i \quad (1)$$

ここにM：質量、C：減衰、K：ゴムガスケットのバネ値、 P_o ：外部水圧の合力、 P_i ：バルクヘッド内の水圧合力、 $\ddot{x}$ ：函体の応答加速度、 $\dot{x}$ ：函体の速度、 x ：函体の応答変位（ゴムガスケットの圧縮量）

2) 質量 (M)

質量Mは次式で与える。

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (2)$$

ここに、 M_1 ：函体質量、 M_2 ：バラスト水質量、 M_3 ：付加水質量

3) 減衰 (C)

水圧接合時に考えられる減衰として、移動する函体の周囲の海水中に発生する渦によるものが考えられるが、ここでは函体の挙動に与える影響は小さいものと考え、無視する。

4) ゴムガスケットのバネ値 (K)

ゴムガスケットのバネ値は、図2のように圧縮量が増えるに従い、大きくなる。しかしながら、ここではゴムガスケットのバネ値は、水圧接合開始から終了迄の平均的な値を用い、一定とする。

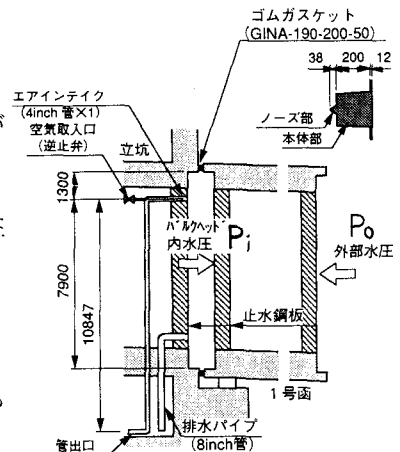
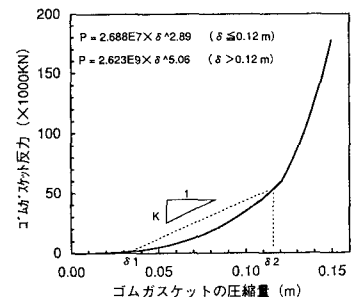


図1 水圧接合状況



δ1：水圧接合開始時
δ2：水圧接合①終了時

図2 ゴムガスケット反力

5) 外部水圧 (Po)

函体の断面積に静水圧を乗じて算定する。

$$P_o = p \times A \quad (3)$$

ここにp：接合部に作用する平均静水圧、A：函体断面積

6) 内部水圧 (Pi)

内部水圧合力(Pi)とエアインテイクからの排水流量(Q)、排水流量(Q)と函体の移動速度(x)の釣合に基づいて、内部水圧合力(Pi)を函体の移動速度(x)の関数により表現する。

水は非圧縮性であり、バルクヘッド内には空気は入らないと仮定すると以下の関係式が表せる。

$$\text{排水流量(Q)と函体の移動速度(x)} : Q = A_i \cdot \dot{x} \quad (4)$$

$$\text{排水流量(Q)とエアインテイク内の排水流速(v)} : Q = a \cdot v \quad (5)$$

$$\text{エアインテイク位置と管出口の水理上の釣合} : pr/\gamma + Z = v^2/2g \cdot (1 + \Sigma f) \quad (6)$$

$$\text{エアインテイク位置の圧力(pr)と平均内部水圧合力(Pi)} : P_i = (pr + (h_2 - h_1)/2) \quad (7)$$

ここにAi：バルクヘッド内の断面積、a：エアインテイクの管の断面積、Z：エアインテイクの高さ、γ：水の単位重量、Σf：管路内の総エネルギー損失を考慮した損失係数、h1, h2：エアインテイクとバルクヘッド上端及び下端迄の距離

式(4)～(7)を整理し、内部水圧合力(Pi)は函体の移動速度(x)の関数により以下のように表現出来る。

$$P_i = \left[\gamma \left\{ \frac{1}{2g} \left(\frac{A_i}{a} \right)^2 \cdot \dot{x}^2 (1 + \Sigma f) - Z \right\} + \frac{h_2 - h_1}{2} \right] \cdot A_i \quad (8)$$

7) 水圧接合時の函体の移動に関する運動方程式

上述の(1)式に(8)式を代入し、整理すれば、水圧接合時の函体の移動に関する運動方程式は以下のように表現できる。

$$M \cdot \ddot{x} + \frac{A_i \cdot \gamma}{2g} \left(\frac{A_i}{a} \right)^2 \cdot \dot{x}^2 + K \cdot \dot{x} = P_o + A_i \cdot \left(Z - \frac{h_2 - h_1}{2} \right) \quad (9)$$

4. 予測値と実測値の比較

図3、4に(9)式により求めた水圧接合①の函体の移動量と速度の予測値と実測値を比較する。また、図4中◇は、(9)式において $\ddot{x}=0$ 、 $\dot{x}=0$ とした場合の函体の初期移動速度を示す。(9)式による予測値は、実測値よりも大きく、函体の挙動を予測する上で安全側の値を示している。また、図中◇に示す近似的に算定した函体の初期移動速度

(0.15mm/sec)は、ほぼ最大移動速度を評価している。従って、実用上、函体の最大運動エネルギーはこの近似値により算定することが可能と考えられる。なお、予測値と実測値の差は函体移動速度が安全側になるようにモデル化したこと、エアインテイクの管内のエネルギー損失を小さく評価したこと等によるものと思われる。従って、詳細なモデル化については、2号函以降の水圧接合時のデータを考慮し、今後さらに検討する必要があると思われる。

今回の水圧接合に先立ち、上述の近似値を用いて函体の挙動予測を行った結果、函体の最大運動エネルギー (7.6 × 10⁴ KN・m) は、ゴムガasketの吸収エネルギー (2407 KN・m, at δ=116mm) に比較して充分小さく、問題のない水圧接合手順であると判断された。実施された水圧接合においても、図4に示すように函体の最大移動速度は0.13mm/sec (函体の運動エネルギー、5.6 × 10⁴ KN・m) であり、問題のないものであった。

表1 計算条件

M	67400 ton	K	654700 KN/m
M1	52000 ton	δ1	38 mm
M2	2100 ton	δ2	116 mm
M3	13300 ton	L	95.256 m
Ai	357.9 m ²	Po	69250 KN
a	0.0078 m ²	Z	10.847 m
γ	10.1 KN/m ³	h1	1.300 m
Σf	9.81	h2	7.900 m

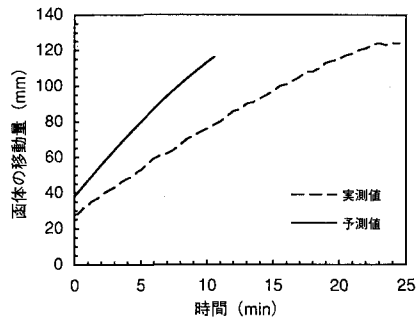


図3 函体の移動量

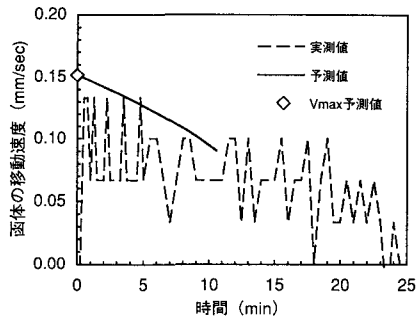


図4 函体の移動速度