

圧密沈下で受梁が損傷した直杭式PC桁栈橋の改良について

松本 典人*・金正 富雄**・上原 教善***・塩田 恒夫****・片倉 信一*****

* 前 (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** 株式会社エコー 技術本部 副本部長

**** 株式会社エコー 技術本部 構造設計部 課長

***** 国土交通省 東北地方整備局 青森港湾事務所 工務課 第一工務係長

青森港の本港地区岸壁(-10m)は、東北地方で初めて大型旅客船に対応した施設であり、平成15年8月に供用が開始された。この岸壁の構造形式は、直杭式PC桁栈橋である。平成21~23年の維持管理調査時にPC桁の受梁にひび割れや浮き・剥離が確認された。この原因は、栈橋の沈下によるものと考えられたが、栈橋が沈下する要因について検討する必要がある。本稿は、この栈橋の損傷要因である栈橋の沈下を調べるため、圧密沈下解析による杭の沈下の検討等を行った結果を報告するものである。
キーワード：直杭式PC桁栈橋、劣化(損傷)要因、圧密沈下解析、補修・補強工法

1. はじめに

青森港は、西の津軽半島と東の下北半島に囲まれ、北に津軽海峡を望む陸奥湾最奥区に位置する天然の良港であり、古くから本州と北海道を結ぶ物流・人流の重要拠点として、また、北東北地域の物流拠点として重要な役割を果たしてきている。本港地区は、再開発整備計画の中核施設となる新中央埠頭の整備が進められており、東北初の大型旅客船対応バースとして、更に大規模地震災害時の緊急物資輸送拠点としての耐震強化岸壁(-10m)が整備された(写真-1参照)。

この岸壁は平成15年8月より供用が開始され、岸壁延長が340m(取付部 両端30m含む)、対象船舶が3万トンで、構造形式は直杭式PC桁栈橋である(図-1参照)。供用開始から約6~8年経過後の平成21~23年に維持管理調査を行った際、受梁にひび割れ等が確認された(写真-2参照)。また、栈橋と陸上部の間に段差が生じていた。この主な要因は、栈橋の沈下によるものと考えられた。しかし、今後の補修・補強工法等を選定する上で、栈橋が沈下する要因について検討する必要があると考えられた。

本検討は、栈橋の沈下の要因を調べるため、圧密沈



写真-1 栈橋全景

下解析による杭の沈下の検討等を行った結果を報告するものである。

2. 栈橋の沈下要因の推定

2.1 栈橋の沈下状況

栈橋ブロックの沈下量の経年変化を図-2に示す。この結果から、栈橋がブロック間で最大10cm以上不等沈下しており、特に栈橋両端の沈下量が大きいことがわかる。栈橋の受梁の劣化(損傷)(以下、損傷)状況を見ると、沈下量の大きい箇所の損傷が目立った。

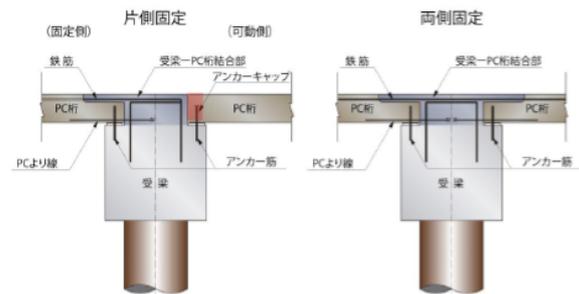


図-1 受梁支承部概念図



写真-2 受梁(可動支承部)のコンクリート剥離状況

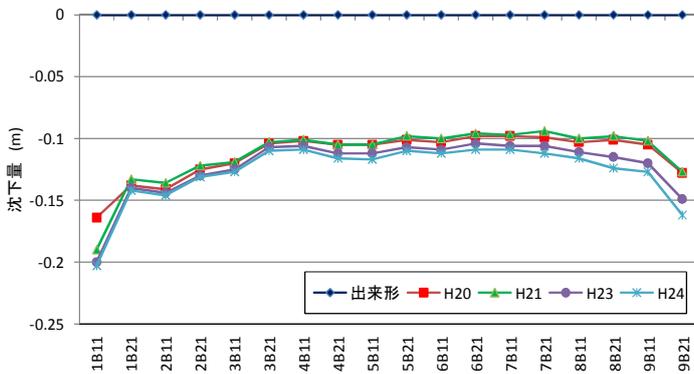


図-2 栈橋ブロックの経年沈下量

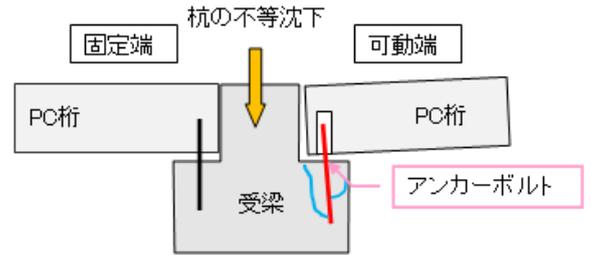


図-3 可動支承部の損傷イメージ

栈橋の沈下は、杭が沈下することで生じたと考えられる。杭の沈下に伴い受梁も沈下し、図-3に示すように、可動支承部の遊間(21mm)がなくなり、アンカーボルトに異常な力が伝達され、受梁内部から損傷したものと考えられた。

2.2 杭の沈下の検討フロー

栈橋の沈下要因は、①杭の支持力不足、及び②圧密沈下が考えられた。したがって、図-4に示す検討フローに従って検討し、最終的に補修工法を提案した。

2.3 杭の支持力の検討

杭の沈下の原因究明のため、栈橋の沈下が観測されてから沈下が大きい箇所をチェックボーリングを実施し、過去の土質条件の資料を整理した結果を図-5に示す。青森港の地盤は表層10m程度が緩い沖積層で、それ以下は強度が非常にばらつく洪積層となっている。

栈橋直下は、沖積層及び洪積層をSCPで地盤改良しているが、栈橋の海側と陸側は、沖積層のみをSCPで地盤改良している。このことから、背後の陸上部の埋立荷重により、沖積層の沈下が遅れて生じ、連れ込み沈下が生じた可能性があると考えられた。

また、杭の確実な支持層は、DL-65m以深と非常に深い。しかし、当初設計では、DL-45m付近に層厚が5mを超えるN値50前後の中間層を確認しており、この層を打ち抜けない懸念があったため、この中間層を支持層として根入れ長を決定していた。

杭の施工記録をみると、試験施工を行い、施工管理のためのHiley式を基に施工条件に適合した貫入量及びリバウンド量による打ち止め管理式を導き、支持力管理を実施していた。先端支持力がやや小さいところは、洪積層の周面支持力を考慮すれば問題ないものとして杭を打設していた。

しかし、図-5に示すように、設計時のボーリングより中間支持層の層厚が薄く、杭の根入れ下端以下の洪積層の強度も小さいことがわかった。杭の支持力不足や洪積層の圧密沈下(によるネガティブフリクション)を検討する必要があることが分かった。

杭の支持力に対する性能照査を実施した。結果を表-1に示す。なお、杭の支持力の検討は、試験施工を実施した杭について実施した。

表-1より、設計軸方向力に対しては、先端抵抗力が確保されていることがわかった。しかし、ネガティブフリクションが作用した場合には、先端抵抗力を上回る力が作用することがわかった。このことから、ネガティブフリクションにより、杭が沈下した可能性があると考えられた。

2.4 圧密沈下の検討

(1) 解析方法

沈下解析は、施工手順を考慮する機能により、掘削・盛土など実施工を踏まえた応力変形解析を行うことが可能である静的地盤FEM解析ソフト(AFIMEX-GT(富

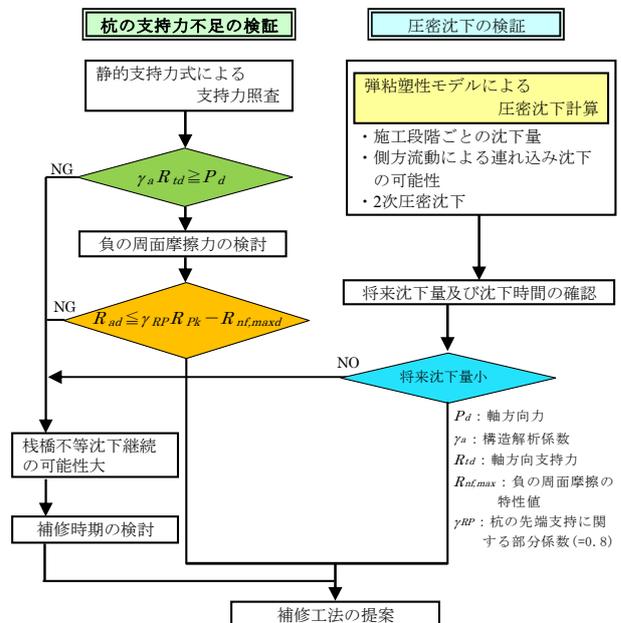


図-4 栈橋の沈下要因の検討フロー

土質記号	土質	N値	平均N値
Ac1 d	粘性土		
Ac1 u	粘性土		
As1	砂質土	0~12	10
As2	砂質土	0~13	4.5
Ag1	礫質土	10	10
Ac2	粘性土		
Dvs1	火山灰混じり砂 軽石混り火山灰	5~50	19.3
Dvc1	砂質火山灰	14~50以上	31.2
Dvg1	礫混り火山灰	7~31	16.8
Dc1	シルト		
Dg1	シルト混り砂礫	13~50以上	38.3
Ds1	シルト質砂	10~50以上	23.2
Ds2	シルト質砂	11~50以上	36
Dc2	砂混りシルト	4~23	17.3
Dp1	有機物混りシルト	10~32	14.5
Dg2	礫質土	20~50以上	45.2
Ds3	シルト質砂	34~50以上	42.9
Dc3	砂混りシルト	7~35	18.6
Ds4	シルト混り砂	16~34	26.1
Dc4	有機物混りシルト	12~48	23.3
Dg3	シルト混り砂礫	20~50以上	48.4
Dc5	砂混りシルト	12~18	15

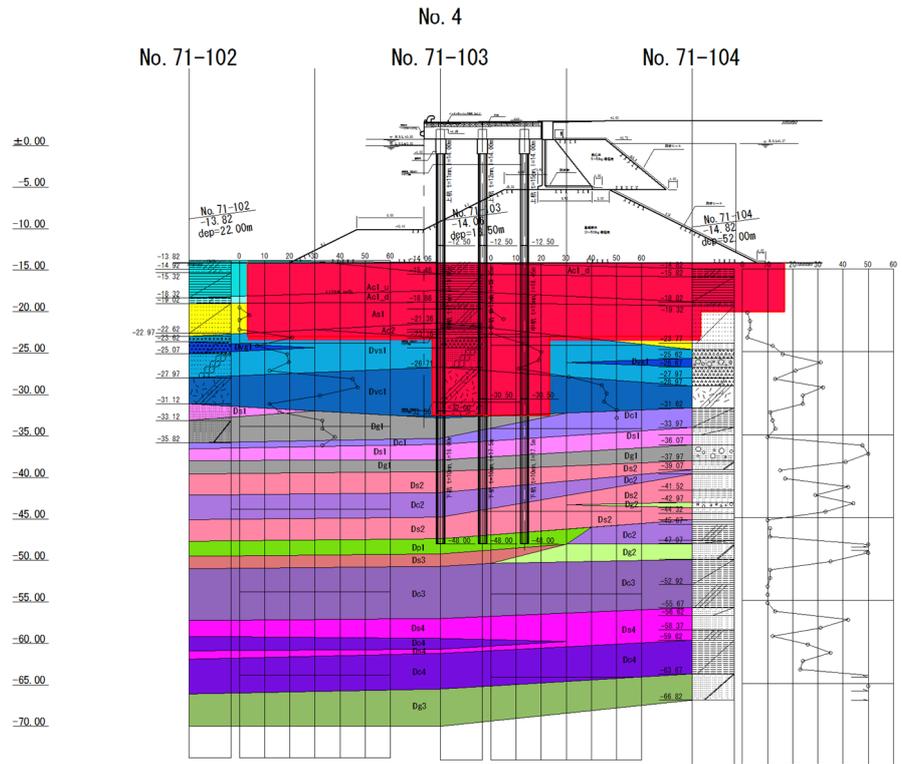


図-5 土質柱状図

表-1 杭の支持力照査結果

ブロック	A	B	C	D
杭番号	No. 2	No. 11	No. 17	No. 27
杭径(m)	1.0	1.0	1.0	1.0
杭長(m)	49.95	47.45	46.45	46.95
杭根入下端(m)	-48.0	-45.5	-44.5	-45.0
先端N値 N_1	-	36	36	36
上方4B範囲のN値 N_2	-	20.85	23.85	24.17
平均N値	-	28.4	29.9	30.1
杭先端位置での粘着力 c_p (kN/m ²)	52	-	-	-
杭先端面積 A_p (m ²)	0.79	0.79	0.79	0.79
先端抵抗力 $R_{Pk} = 300NA_p$ (kN)	-	6730.80	7086.30	7133.70
先端抵抗力 $R_{Pk} = 6c_p A_p$ (kN)	246.48	-	-	-
砂層厚 L_{s2} (m)	32.2	27.9	28.5	28.5
砂層中の平均N値 N_{s2}	21.8	21.8	20.5	20.5
粘性土層厚 L_c (m)	10.5	10.5	10.5	10.5
平均付着力 c_a (kN/m ²)	136.59	91.13	94.13	94.13
杭周長 ϕ (m)	3.14	3.14	3.14	3.14
周面抵抗力 R_{Rk} (kN)	8911.68	6825.55	6772.56	6772.56
部分係数 γ_{Rk}	0.4	0.4	0.4	0.4
軸方向支持力 R_{td} (kN)	3663.26	5422.54	5543.54	5562.50
n (杭先端の閉塞率考慮)	3613.97	4076.38	4126.28	4135.76
軸方向力 N (kN)	2163.84	2163.84	2163.84	2163.84
構造解析係数 γ_s	1.0	1.0	1.0	1.0
耐力作用比	1.69	2.51	2.56	2.57
n (杭先端の閉塞率考慮)	1.67	1.88	1.91	1.91
負の周面摩擦係数 γ_{RF}	0.8	0.8	0.8	0.8
照査 $R_{td} \leq \gamma_{RF} R_{Pk} - R_{nf,maxd}$	NG	NG	NG	NG
n (杭先端の閉塞率考慮)	NG	NG	NG	NG

土通FIP)を用いた。この中で、圧密解析は、DACSAR (V6.1:2010年9月)により行った。2次圧密沈下量の計算では、アイソタック概念による長期沈下の予測手法により設定した圧密係数を用いた。

解析モデル例(横断方向)を図-6に示す。また、実施工に合わせて、施工手順を表-2に示すように分類し、ステップ毎の圧密沈下量を求めた。

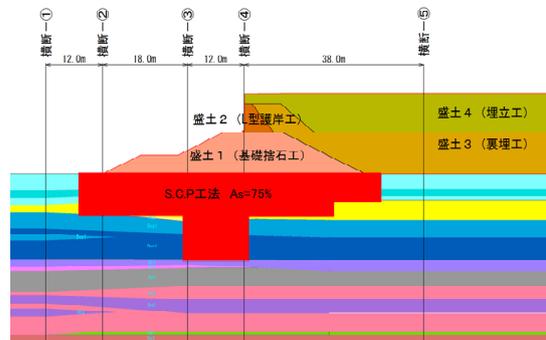


図-6 解析モデル例(横断方向)

表-2 施工手順及び経過日数

Stage No.	工程	Step	日数	経過日数
1	初期状態	1	1	0
2	SCP物性値変更	1	1	0
3	盛土1段階目(15日)	3	15	15
4	放置期間(57日)	12	57	72
5	盛土2段階目(24日)	6	24	96
6	放置期間(5日)	1	5	101
7	盛土3段階目(8日)	2	8	109
8	放置期間(56日)	56	56	165
9	放置期間(2647日)	53	2650	2815
10	盛土4段階目(59日)	59	59	2874
11	竣工後(1年)	24	360	3234
12	竣工後(5年)	24	1440	4674
13	竣工後(10年)	20	1800	6474
14	竣工後(20年)	20	3600	10074
15	竣工後(50年)	60	10800	20874

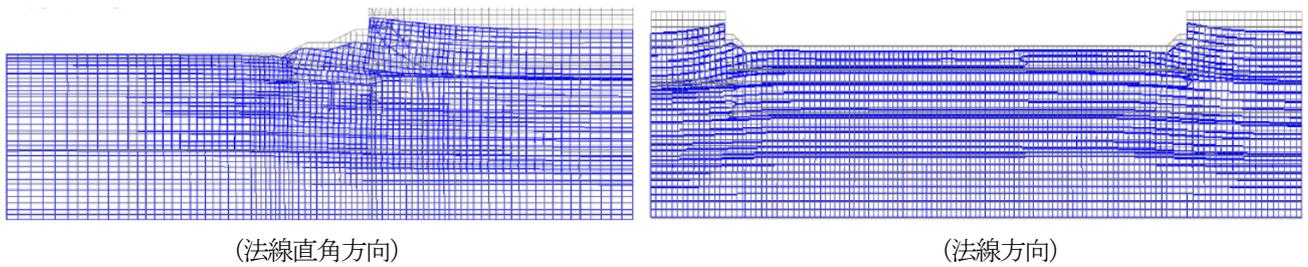


図-8 最終変形図

表-3 残留沈下量

		全体沈下量(m)				杭下端上方(m)				杭下端下方(m)				
		最終沈下量	90%圧密	現時点沈下量	残留沈下量	最終沈下量	90%圧密	現時点沈下量	残留沈下量	最終沈下量	90%圧密	現時点沈下量	残留沈下量	
法線 直角方向	測定点3	海側杭	0.48	0.43	0.46	0.02	0.36	0.32	0.36	0.00	0.12	0.11	0.12	0.00
		陸側杭	0.65	0.59	0.65	0.00	0.48	0.43	0.48	0.00	0.17	0.15	0.17	0.00
	測定点5	海側杭	0.59	0.53	0.51	0.08	0.41	0.37	0.35	0.06	0.18	0.16	0.17	0.01
		陸側杭	0.99	0.89	0.86	0.13	0.75	0.68	0.63	0.12	0.24	0.22	0.22	0.02
	測定点7	海側杭	0.78	0.7	0.62	0.16	0.59	0.53	0.46	0.13	0.19	0.17	0.17	0.02
		陸側杭	1.07	0.96	0.87	0.20	0.83	0.75	0.65	0.18	0.24	0.22	0.22	0.02

※全体沈下量=杭下端上方(杭下端から上の地盤)+杭下端下方(杭下端から下の地盤)

(2) 解析結果

横断方向の沈下量の経年変化の例を図-7に示す。この結果から、竣工後1年経過時点では、沈下は安定しており、最終沈下量は、45cm程度であった。また、青森県が実施した沈下板の計測結果と比べた結果、同程度の沈下量となっており、計算結果の妥当性が確認できた。

圧密解析結果として最終変形図(背後埋立竣工(H21年度)から50年後)を図-8に示す。法線直角方向をみると、栈橋全体が沈下しており、特に陸側の沈下が大きい。法線方向は、両端の沈下量が大きく、計測データと合致した結果となった。

以上の結果から、鋼管杭下端上方の沈下により、ネガティブフリクションが生じ、併せて、杭下端下方の地盤が不等沈下したことにより、想定を越える杭の沈下が生じたものと考えられた。

ここで、解析結果から得られた沈下量から残留沈下量をまとめた結果を表-3に示す。表中の杭下端上方とは、杭の下端から上側の地盤の沈下量等を示し、杭下端下方とは、杭の下端より深い地盤の沈下量を示す。

杭下端下方の最終沈下量は、12~24cmとなっており、杭下端から深いところにある洪積粘土層の沈下の影響が大きいと考えられる。ただし、現状では、沈下は落ち着いており、残留沈下量は小さいことから、今後、栈橋の沈下に与える影響は小さいと考えられる。

一方、杭下端上方の残留沈下量は、最大で18cmとなっており、杭周面にネガティブフリクションが作用する可能性があることから、杭の沈下に伴う栈橋の沈下の懸念が若干残ると考えられる。

3. 栈橋の受梁の補修方針

補修対象となる受梁は、ひび割れが、鉄筋のかぶり部分を貫通して鉄筋位置まで及んでおり、ひび割れ部

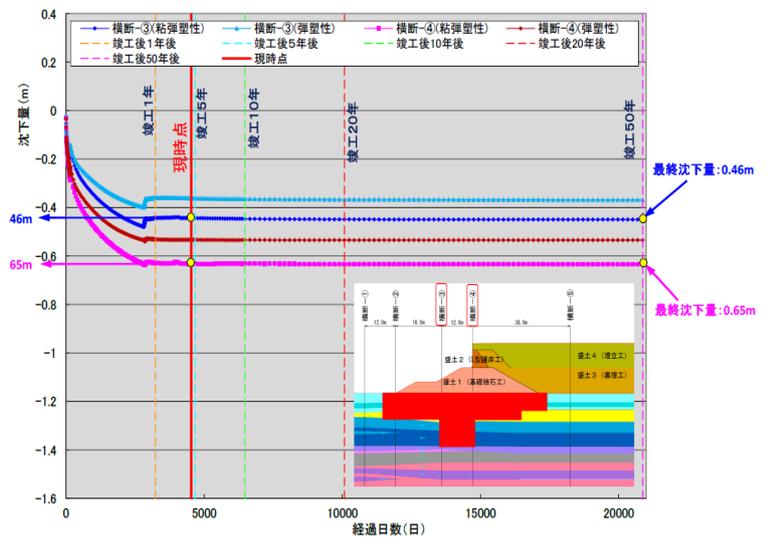


図-7 沈下量の経年変化例

の撤去も併せた工法の選定が必要と考えられた。補修工法は、今後、地盤の残留沈下量が小さいと予測されること、及び施工性や経済性の観点から、施工後の乾燥収縮が少なく、既設コンクリートへの接着性が高いポリマーセメントを用いた断面修復工法を選定する方針とした。また、PC桁の遊間が狭いため、可動部を100mm広げることとした。

謝辞

本稿は、国土交通省東北地方整備局青森港湾事務所発注の青森港本港地区岸壁(-10m)(改良)改良方法検討業務の成果の一部をまとめたものである。

調査にあたっては、技術検討委員会(委員長:東京理科大学 菊池教授)の各委員、東北地方整備局の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。