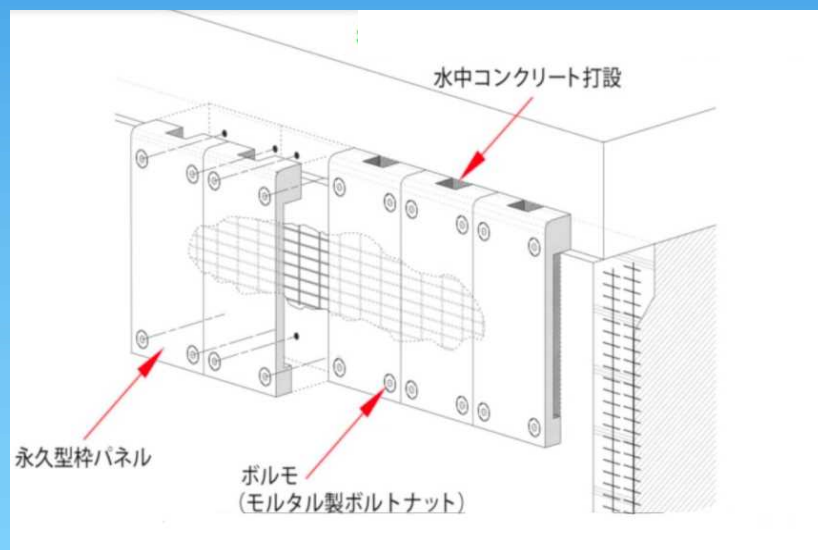


ケーソン欠損部を補修する工法 「永久型枠工法」

永久型枠工法(ケーソン補修)イメージ図



永久型枠工法 施工実績



齒舞漁港(温根元地区)

発表者：株式会社 南 組
共同研究者：北日本港湾コンサルタント(株)
国立大学法人 室蘭工業大学

ケーソン構造物の現状と補修工法

近年、海洋構造物の劣化が深刻化している、そこで水中構造物に使われているケーソンの断面補修工法に着目する。ケーソン構造物の現状として凍結融解作用及び摩耗などにより、断面欠損が発生する。劣化が進行すると、構造物の安全性が保てなくなるため、ケーソン構造物において断面損傷がある場合、早期の補修が望まれている。

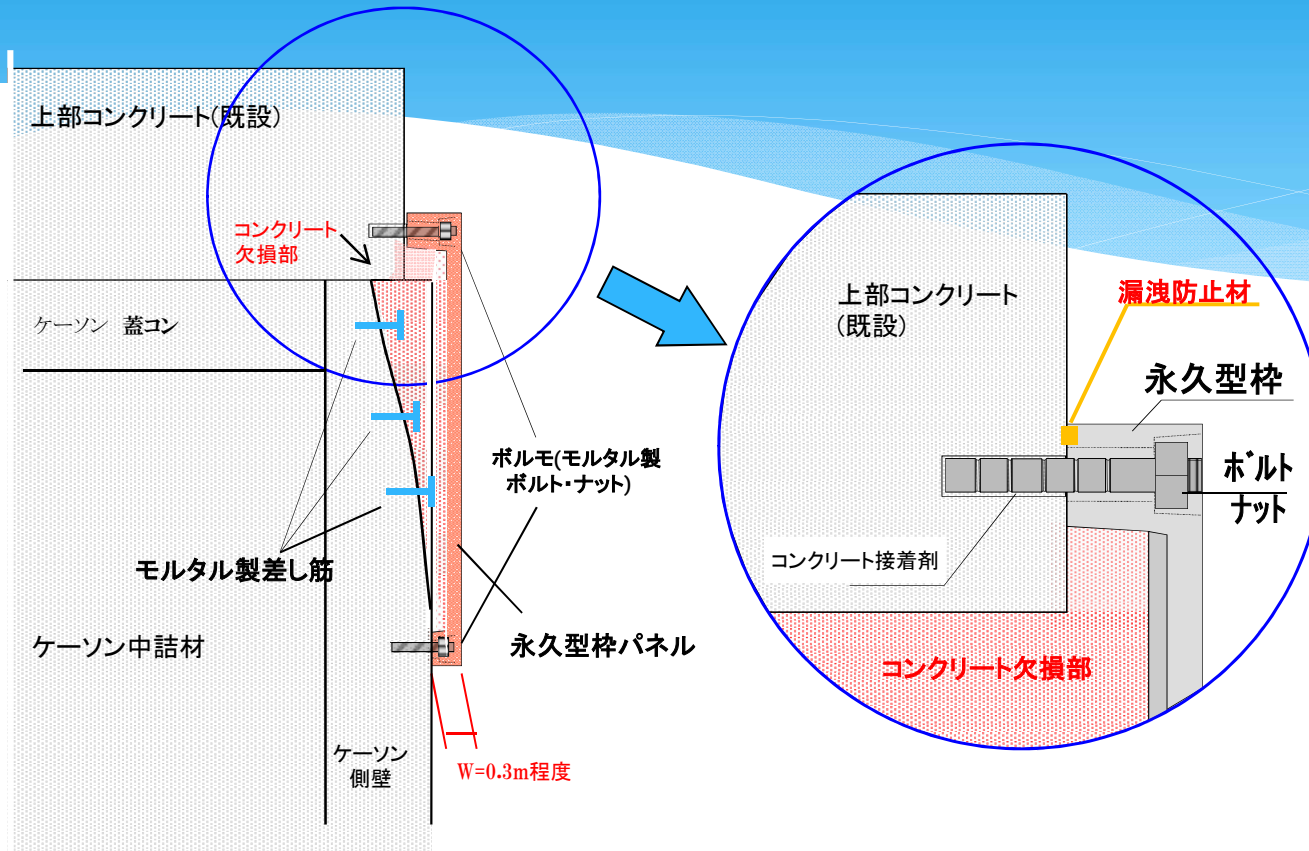
効率的なケーソンの断面修復工法として、永久型枠を用いた工法を提案した。永久型枠工法は、従来の腹付け工法と違い、施工手順として型枠を撤去する作業がないため、工期を1/2～2/3程度短縮できる。また、腹付け工法と比べ、補修後、港内が広く確保できることや、コストを削減できることなど多くの利点が挙げられる。しかし、施工の手順として永久型枠設置のため既設ケーソンの側壁にボルト孔を削孔する作業があり、削孔の際、側壁RC部材の鉄筋を切断する恐れがある。

そのため、既設ケーソンの側壁にボルト孔の削孔による鉄筋切断が起こる場合の安全性の検討について研究してきた。

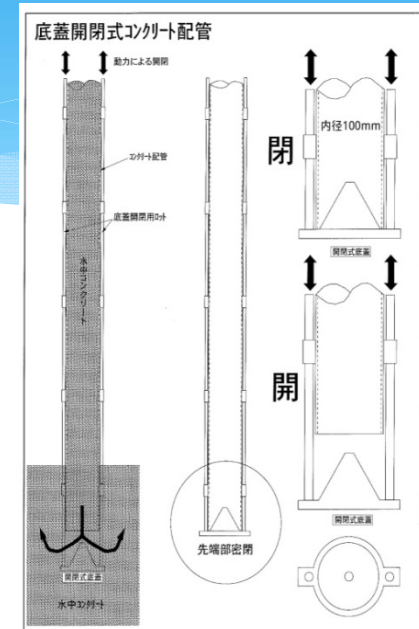
平成28年に永久型枠工法で検討した場合(鉄筋を切断した場合を想定)を、波圧による外力に対して室蘭工業大学と共同で検証(P-4)を行い、ケーソン側壁の安全性は、明らかになりました。しかし、ケーソン内部からの土圧等の影響について行われていなかった。

今回、(株)南組・北日本港湾コンサルタント(株)・国立大学法人 室蘭工業大学の共同研究により、ケーソン側壁に鉄筋切断が生じた場合の、内部土圧からの影響について実験・検証を行った。

永久型枠工法 概要図



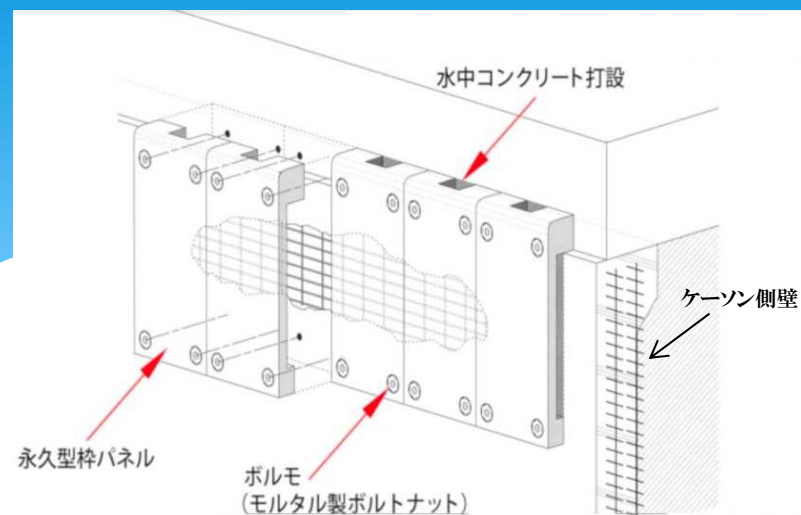
永久型枠用水コン打設管



永久型枠工法は、防波堤や岸壁などの港湾コンクリート構造物等の劣化・損欠部分を、高強度・高耐久性モルタル二次製品（永久型枠パネル、ボルト・ナット）と形状自在複枠を使って補修する工法です。

施工手順は、工法専用架台を用い、1)劣化欠損部を囲うよう永久型枠パネルを設置し、取付用ボルトコア削孔を行い、2)ボルトを接着固定して永久型枠パネルをナットで締めつけ固定後、3)形状自在複枠・底枠で中詰材の漏えい防止を図り、4)水中コンクリート等の中詰材を打設充填し補修する。

永久型枠工法(ケーソン補修)イメージ図



永久型枠工法



歯舞漁港(温根元地区)

使用部材

永久型枠パネル

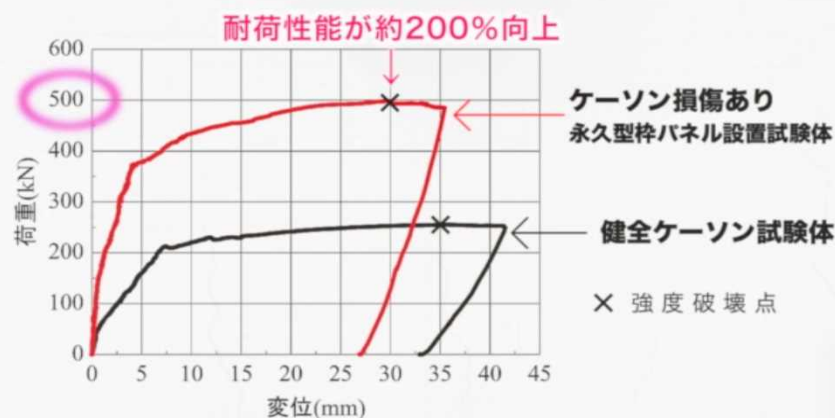
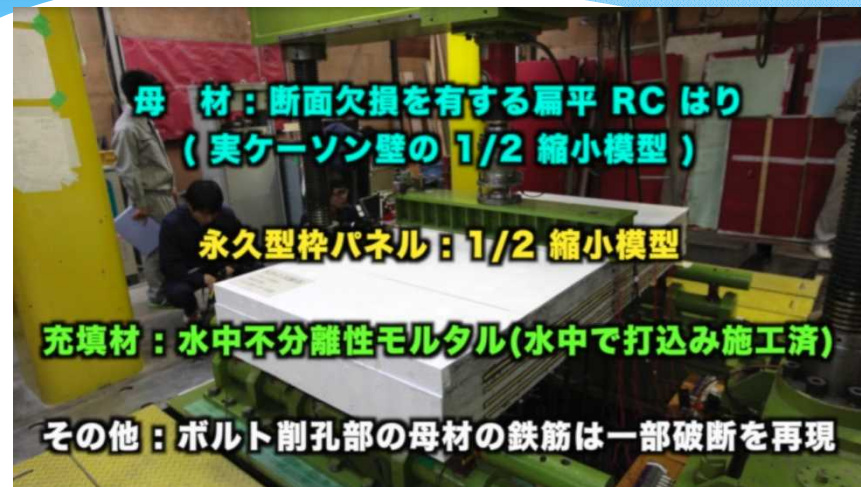


ボルト・ナット



既往の研究成果 (平成28年11月実施)

永久型枠でケーソンの劣化欠損部を補修する際に、永久型枠を固定するボルモ(モルタル製ボルト・ナット)を埋めるコンクリート削孔が必要になるが、その削孔によりケーソンの鉄筋を切断した場合、波浪による影響を想定し、室蘭工業大学と共同で載荷試験を行った。



試験結果から得た、各試験体の荷重 - 変位関係

載荷試験の結果

- 1) 永久型枠パネル及び水中不分離性モルタルは、RC梁の主鉄筋降伏時までは、ほぼ完全にRC梁と付着して一体化している。
- 2) 1/2モデルでの載荷試験の結果、健全ケーソン壁の耐荷重は250kNであったが、永久型枠で補修後（鉄筋破断）の耐荷重は500kNと、鉄筋破断や断面欠損がある場合においても、増厚効果により、その曲げ耐力性能は当初断面（無損傷）の場合より大きくなる。
- 3) 波圧を想定した場合における、永久型枠工法の安全性が明らかになった。

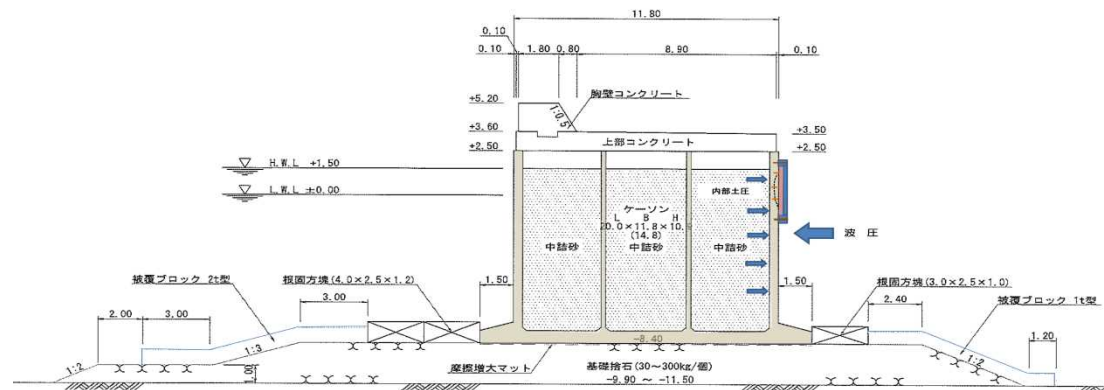
今回の研究・検証目的

既往の研究では、波圧を想定した試験をしているが、ケーソン内部からの内部土圧などを想定した検討はなされていない。内部土圧は、波圧よりも外力としては小さいが、永久型枠工法においてケーソン壁の外側の鉄筋を切断するおそれがあり、その鉄筋は内部からの力から見て外側鉄筋である。

RC構造において外側鉄筋は引張応力を担う重要な役割を果たす。そのため内部土圧を想定したとき、ボルト孔の削孔による鉄筋切断がある場合に安全性は確約されていないかった。

そこで今回の研究では、永久型枠工法において、ケーソン側壁に内部土圧が作用する場合の安全性の照査を目的とした。

試験方法は、補修部のケーソンの側壁を模擬した1/2スケールRC梁を用いて、ボルト削孔による鉄筋切断・ボルト挿入を再現し、静載荷実験により検証した。

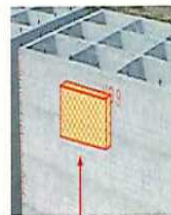


ケーソン式防波堤 断面図

設計外力の決定

今試験の縮小模型は、既設ケーソン側壁において最も劣化が多い潮干部付近をモデル化した、1/2スケールの複鉄筋扁平RC梁である。従って、部材厚、鉄筋量および鉄筋配置間隔は、浦河港の外防波堤ケーソン構造物の1/2程度に設定した。設計外力は、浦河港のケーソンの設計図書を参考に波の谷作用時における最大曲げモーメント値 M_u に基づいて設定した。 M_u は単位幅当り60.06kNmであることから、その1/4の曲げモーメントが作用する荷重を内部土圧による設計外力 P_d とした。

■実験用の部材は、補修部位を考慮してケーソンの上部を切り出したものに設定



ケーソン壁の一部を模擬

一般的なケーソンの設計図書を参照

波浪に関する変動状態(波の谷)-法線平行方向側壁 港外側

三辺固定一辺自由版(八等分)

$P_1 = -56.74 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$P_2 = -88.01 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

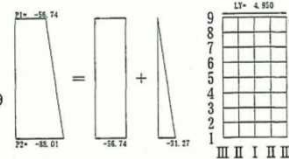
$LX = 11.350 \text{ (m)}$

$LY = 4.950 \text{ (m)}$

辺長比

$\lambda = 11.350/4.950 = 2.29$

$\lambda = 2.25$ の係数表を用いる



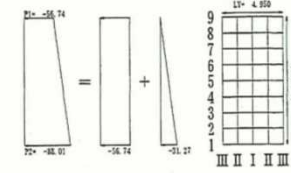
等分布荷重による断面力

$P = -56.74 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$MX = P \cdot LY^2 \cdot X = -56.74 \times 4.950^2 \times X = -1390.27 \times X$

$MY = P \cdot LX^2 \cdot Y = -56.74 \times 11.350^2 \times Y = -1390.27 \times Y$

■波浪と土圧を考慮した設計外力(曲げモーメント)



補修対象となる部位から
 $MY = 60.06 \text{ kNm/m}$ を
設計外力とした。

	X	Y	Z
9	0.0000	0.00	0.0432
8	0.0055	-7.79	0.0414
7	0.0068	-9.45	0.0415
6	0.0072	-10.01	0.0417
5	0.0080	-11.12	0.0416
4	0.0102	-14.18	0.0399
3	0.0135	-18.77	0.0334
2	0.0074	-10.29	0.0183
1	-0.0587	78.83	-0.0095
9	0.0000	0.00	0.0105
8	0.0010	-1.39	0.0103
7	0.0017	-2.36	0.0104
6	0.0019	-2.64	0.0105
5	0.0023	-3.20	0.0108
4	0.0037	-5.14	0.0108
3	0.0062	-8.82	0.0104
2	0.0042	-5.84	0.0082
1	-0.0343	47.69	-0.0057
9	0.0000	0.00	-0.0852
8	-0.0140	19.46	-0.0838
7	-0.0137	19.05	-0.0824
6	-0.0138	19.19	-0.0831
5	-0.0140	19.46	-0.0842
4	-0.0137	19.05	-0.0820
3	-0.0118	16.41	-0.0708
2	-0.0065	9.04	-0.0390
1	0.0000	0.00	0.0000

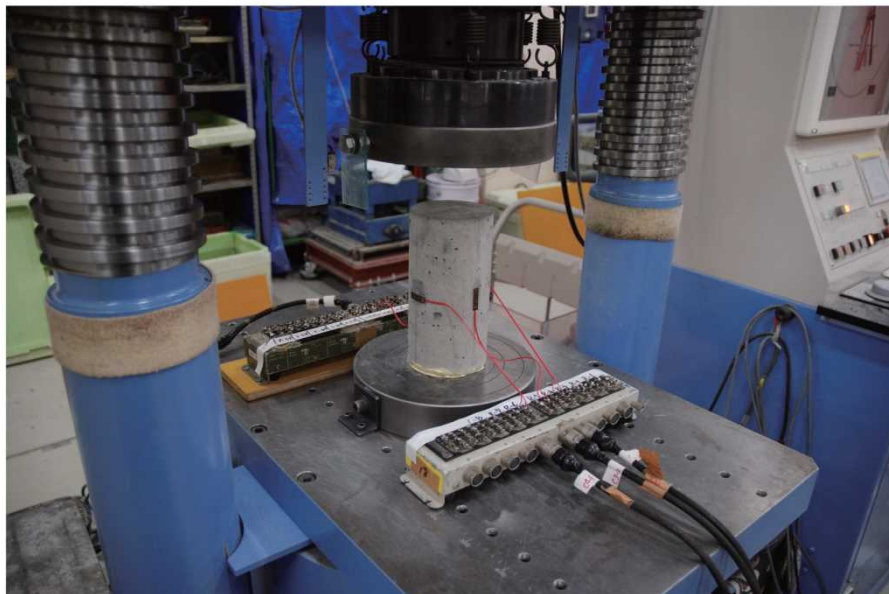
設計外力 P_d の算定方法は以下の通りである。

- 1) 本試験体における再現するべき単位幅当りの曲げモーメント M'_u は
 $M'_u = 60.06 \text{ kNm/m} \times (1/2) \text{ 二乗} = 15.0 \text{ kNm/m}$
- 2) 試験体の幅は1.2mなので目標とする曲げモーメント M_d は
 $M_d = 15.0 \text{ kNm/m} \times 1.2 \text{ m} = 18 \text{ kNm}$
- 3) 試験体のスパンは2mであり中央集中載荷なので P_d は
 $P_d = 4 \times 18 \text{ kNm} \div 2 \text{ m} = 36 \text{ kN}$

以上の計算より、設計外力は $P_d = 36 \text{ kN}$ と算定した。

使用材料の力学試験

試験結果や試験体耐力の事前予測をするため、試験体の母材コンクリートの円柱供試体による力学試験を行い、この結果は、断面分割法により荷重変位関係を予測するために使用した。



円柱供試体試験状況

使用材料力学試験結果

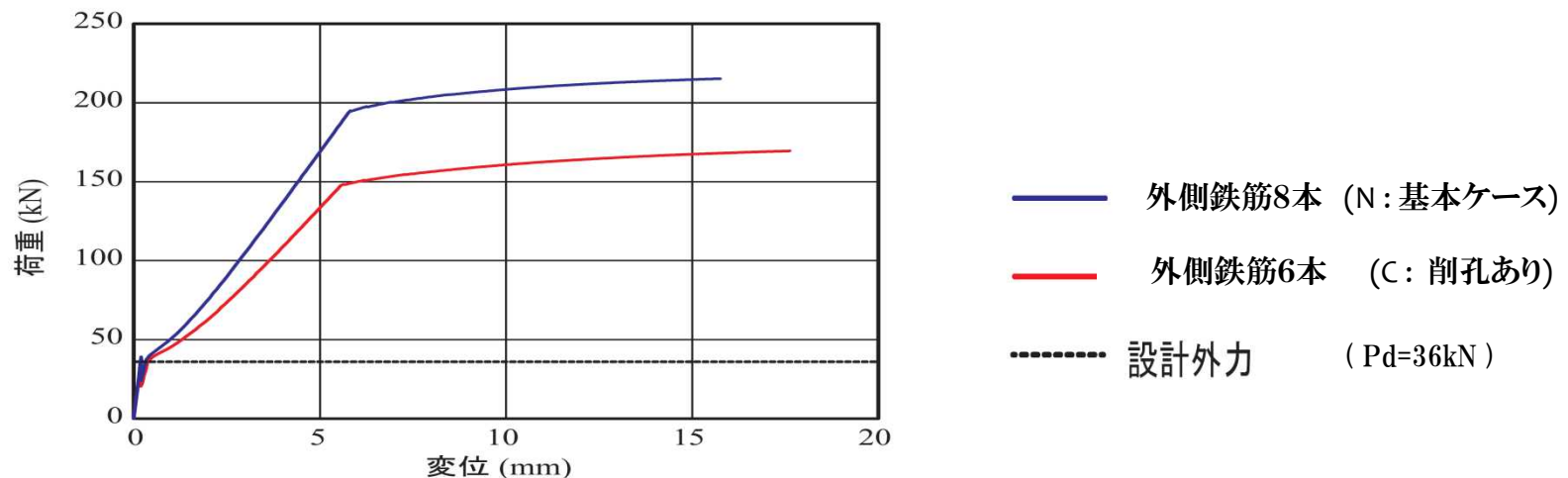
使用材料	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	降伏応力 (MPa)	弾性係数 (GPa)
コンクリート	37.6	2.58	-	22.8
鉄筋	-	-	404	206

荷重－変位関係予測

断面分割法を使い、荷重－変位関係を数値解析により予測を行った。

試験体寸法は、試験体の概要(P-10)に記す寸法である、鉄筋切断ありの計算結果は、切断される外側鉄筋を2本抜いたときの計算結果であり、削孔は考慮されていない。設計外力 P_d と比較している。

下図より、鉄筋切断がある計算結果の耐力低下がみられるが設計外力と比べ余裕があることがわかる。



荷重－変位関係予測 計算結果

断面分割法

断面分割法は、1)解析対象部材の断面を高さ方向に分割し、2)平面保持の過程の下、上縁ひずみ(圧縮ひずみ)に対して下縁ひずみを漸増させ、3)断面内の力の釣り合いを考慮して、4)曲率や抵抗曲げモーメントを算出する手法であり、上縁ひずみを零レベルからコンクリートの圧壊ひずみである($-3,500\mu$)まで変化させて、与えられた断面に関する曲率－抵抗曲げモーメント関係を求めるものである。本研究では効率良く安定した解が得られることを確認の上、断面高さ方向の1要素長を5mmとして分割数を決定した。図2.1には、断面の分割状況、断面内ひずみ分布および断面内応力分布の模式図を示している。また、図2.2には、本研究に用いた断面分割法の解析過程を示している。

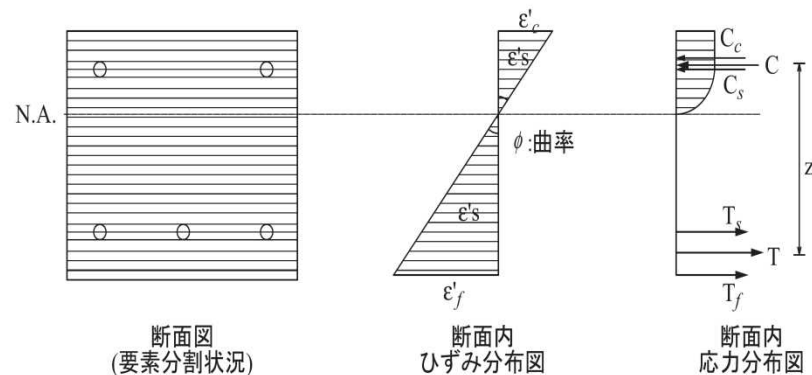


図2.1 要素分割図

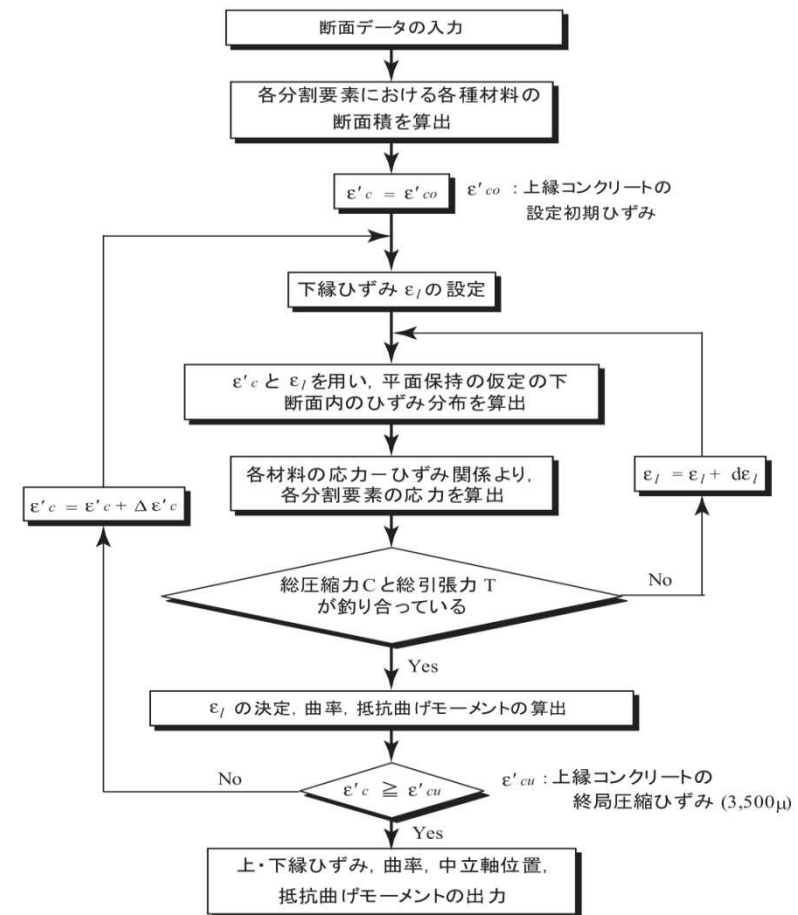


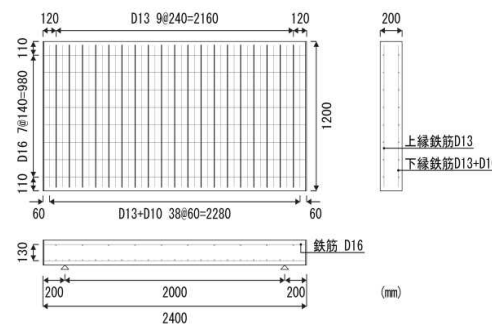
図2.2 断面分割法の流れ

試験体の概要

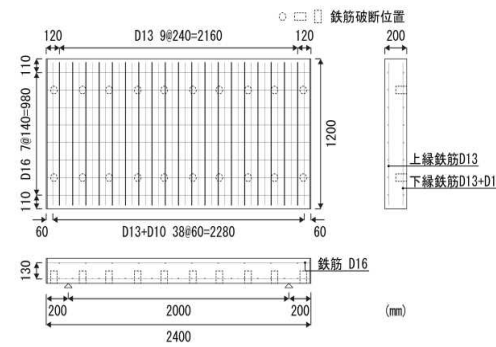
本研究に用いた試験体は、(株)南組により作られた試験体で、母材の力学特性は前述したとおりである。下記の図は、各試験体の概要を示している。N試験体が削孔なしの基本ケースで、道内の一般的なケーソンをモデルに、補修部RC部材の1/2スケールのRC梁としている。断面寸法(幅×高さ)が1,200mm×2,400、純スパン長が2,000mmの複鉄筋RC梁であり、実ケーソン側壁の1/2縮小模型である。なお、RC梁の上端および下端の軸方向鉄筋にはD16をそれぞれ8本ずつ配置した。また、上端の組立筋にはD13およびD10を用い60mm間隔で交互に配置し、下端の組立筋にはD13を用い240mm間隔で配置した。C試験体は削孔による鉄筋切断が再現されていてD16外側鉄筋が2本切断されている。CP試験体は削孔部にボルトが挿入されている。

試験体名	鉄筋切断	ボルト挿入	備考
N	無	無	基本ケース
C	有	無	鉄筋切断の検討
CP	有	有	ボルト挿入の有無

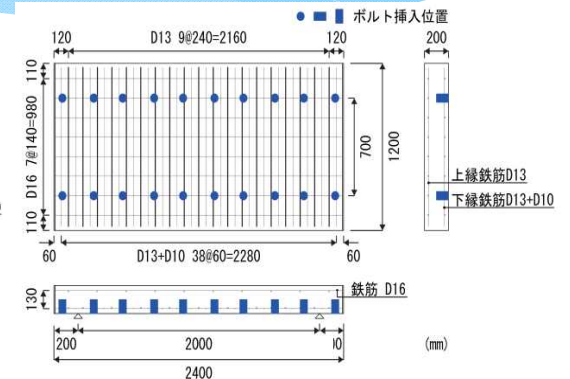
試験体一覧



N 試験体(基本タイプ)



C 試験体 (鉄筋切断有り)



CP 試験体 (鉄筋切断+ボルト挿入)

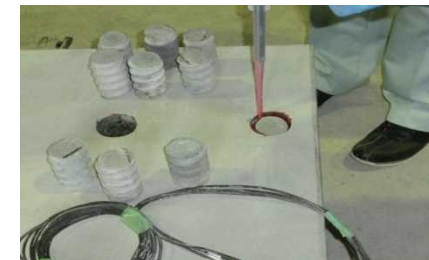
下の写真はそれぞれ、ボルト孔の削孔とボルト挿入の様子である。コアドリルで直径65mm×深さ100mmの削孔が行われ、ボルト挿入時にはコンクリート接着剤を用いて削孔部とボルトの接着がされている。



コンクリート削孔状況



コア抜き取り状況



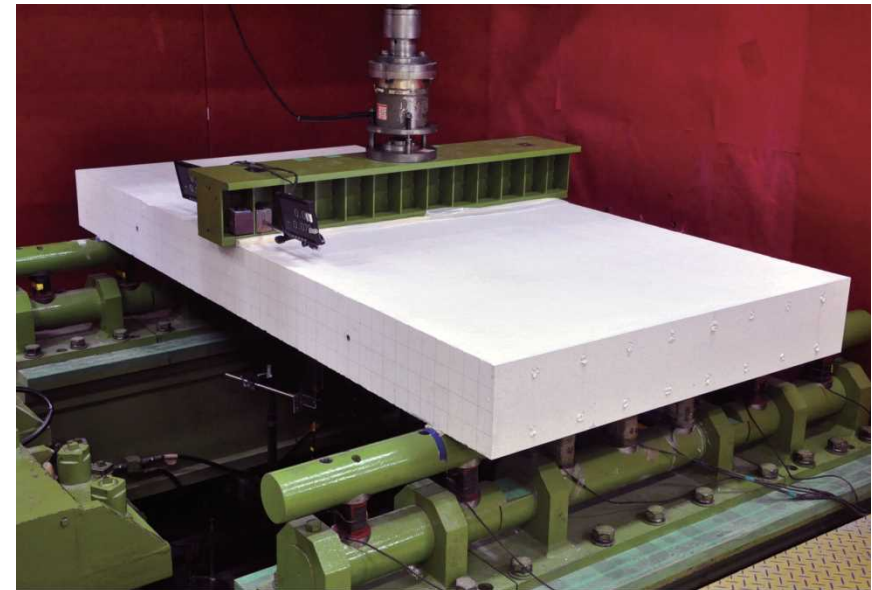
ボルト挿入状況

実験施設

本研究では、平成7年度に室蘭工業大学内に設置された『構造物耐衝撃耐荷力試験評価棟』の静的載荷装置を用いて静載荷試験を行っている。



室蘭工業大学 構造物耐衝撃耐荷力試験評価棟



静載荷試験状況

実験方法および測定項目

載荷方法

本試験に用いた静的載荷装置は、油圧式ジャッキであり、ジャッキ先端には、種々の実験に対応した載荷荷重測定用ロードセルおよび載荷治具を取付、載荷速度は試験体の状況にあわせて手動調整している。載荷速度の調整は、油圧ポンプの圧力を電圧による比例制御装置を介して調整することにより効率よく行っている。

なお、設計外力と比べ試験体の耐力に余裕があるため、載荷の手順としては、設計外力を載荷→除荷→設計外力の2倍の荷重を載荷と繰り返し、設計外力の2倍、3倍、4倍の荷重値も載荷した。

測定項目

本研究では、RC梁の耐荷性状を正確に評価するため、実験時において

- 1) 載荷荷重測定 … センターホール型圧縮測定用ロードセル使用
- 2) 載荷点、各点の中央部変位測定 … 非接触式(レーザー式)変位計使用
- 3) 鉄筋のひずみ測定 … ひずみゲージを設置し、上・下部の主鉄筋2本ずつを測定
- 4) 梁底面のひび割れ状況

を測定している。

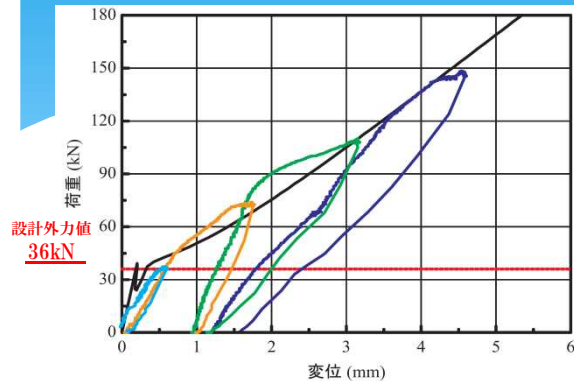
実験終了後には、試験体のひび割れ状況を撮影し、ひび割れ分布を作成している。

実験結果および考察

荷重－変位関係

..... 設計外力 — N 計算結果 C 計算結果 (削孔あり)
 — 36 kN 载荷 — 72 kN 载荷 — 108 kN 载荷 — 144 kN 载荷

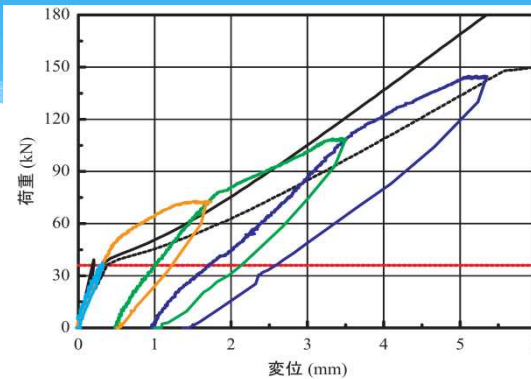
N: 削孔なし試験体



N 試験体 荷重－変位

図より、予測(計算結果)された数値に概ね同じ結果が出たことがわかる。36kN载荷時は、計算結果より変位が大きくなっているが、その後計算結果に沿っている。

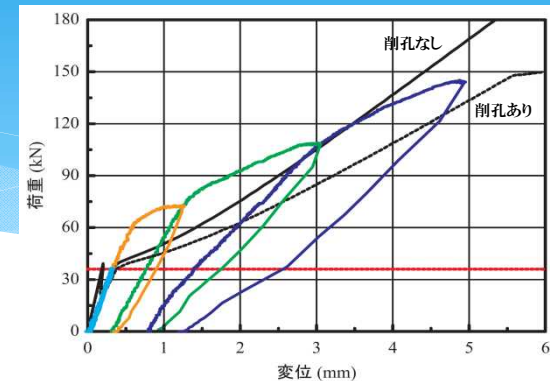
C: 削孔により鉄筋破断ありの試験体



C 試験体 荷重－変位

図より、36kN载荷時は、計算どおりで、72kN载荷時に予測値よりひび割れ発生までの耐力が大きくなっていることがわかる。これは、削孔により梁の変形が削孔部で曲がりやすくなり、一番ひび割れが起きやすい、梁中央部の曲がり方がなだらかになったからだと思う。次に、108kN・144kN载荷していくと削孔ありの予測結果に近づいていることから、N試験体と比べ、梁の耐力が低下していることがわかる。

CP: ボルト挿入ありの試験体



CP 試験体 荷重－変位

C試験体と同じように、ひび割れまでの耐力は大きく、その後、削孔ありの予測結果に近づいている。CP試験体もC試験体と同様の理由でこのような結果になったと思われる。また、C試験体の結果ほど変位が大きくないことから、ボルト挿入により耐力が上昇したと考えられる。

荷重－変位関係 考察

- 1) 削孔された場合、梁の変形性状が変わり、ひび割れが発生しにくいと推察できる。
- 2) 削孔による鉄筋切断がある場合、荷重が大きくなると、耐力低下がみられる。
- 3) ボルト挿入により、耐力上昇がみられる

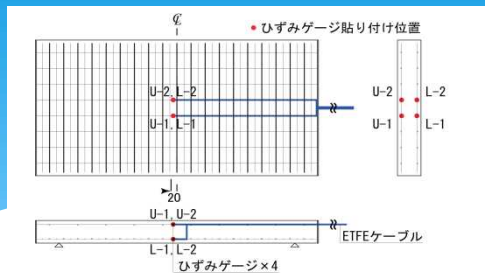
また、どの試験体の結果を見ても、設計外力と比べ耐力に余裕があることから、永久型枠工法の安全性が認められる。

試験体一覧

試験体名	鉄筋切断	ボルト挿入	備考
N	無	無	基本ケース
C	有	無	鉄筋切断の検討
CP	有	有	ボルト挿入の有無

鉄筋の荷重応力関係

実験より得た各試験体鉄筋の荷重応力関係から、それぞれを比較し考察する。



鉄筋ひずみ

本研究では、鉄筋の荷重応力関係を詳細に検討するため、ひずみゲージを用いて上部・下部の主鉄筋2本ずつひずみを測定している。
(左図に、ゲージ貼付け位置を示す)

NとCの比較、削孔による鉄筋破断の影響

図1は、N/C試験体の鉄筋の荷重－応力関係を比較している。図より、ひび割れが発生して、引張鉄筋側のグラフの勾配が変化する40～50kNに注目すると、N試験体よりC試験体の方が、勾配の変化が大きくなっていることが分かる。これは、削孔により外側鉄筋が切断されているため、鉄筋一本当りの分担応力が大きくなっているからだと考えられる。また、C試験体の圧縮鉄筋に注目すると、ひび割れが発生したと思われる荷重値から、荷重が上昇するほど応力は上がりにくくなっている。これは、削孔の影響で梁の内部にひび割れが進展しやすくなっている、中立軸が上がりやすくなっているからだと考えられる。

CとCPの比較、ボルト挿入による影響

図2は、C/CP試験体の鉄筋の荷重－応力関係を比較している。図より、C試験体よりCP試験体の方が応力が小さくなっていることが分かる。これは、ボルト挿入の影響により、切断されていた鉄筋が効いている、もしくはボルト自身が鉄筋のように引張力を分担していると考えられる。

鉄筋の荷重応力関係 考察

- 1) 削孔による鉄筋切断がある場合、ひび割れ発生時から、引張鉄筋一本当りの分担応力が大きくなる。
- 2) 削孔による鉄筋切断がある場合、荷重が大きくなると、圧縮鉄筋の応力は上昇しにくくなる。
- 3) ボルト挿入により、引張鉄筋の負担が低減される。

また、C試験体では、144kN載荷時に引張鉄筋が降伏応力の値に達している。

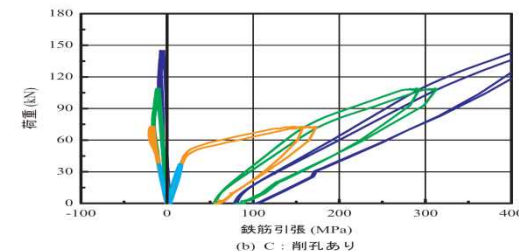
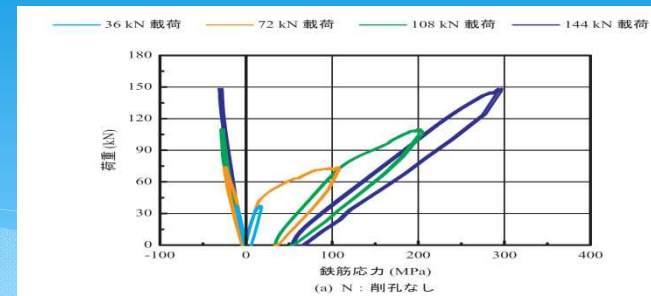


図1 N/C 荷重－応力

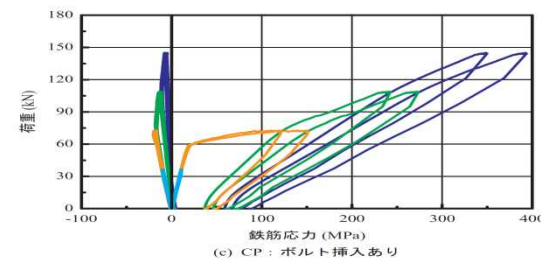
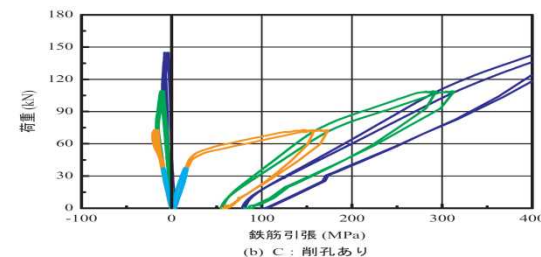


図2 C/CP 荷重－応力

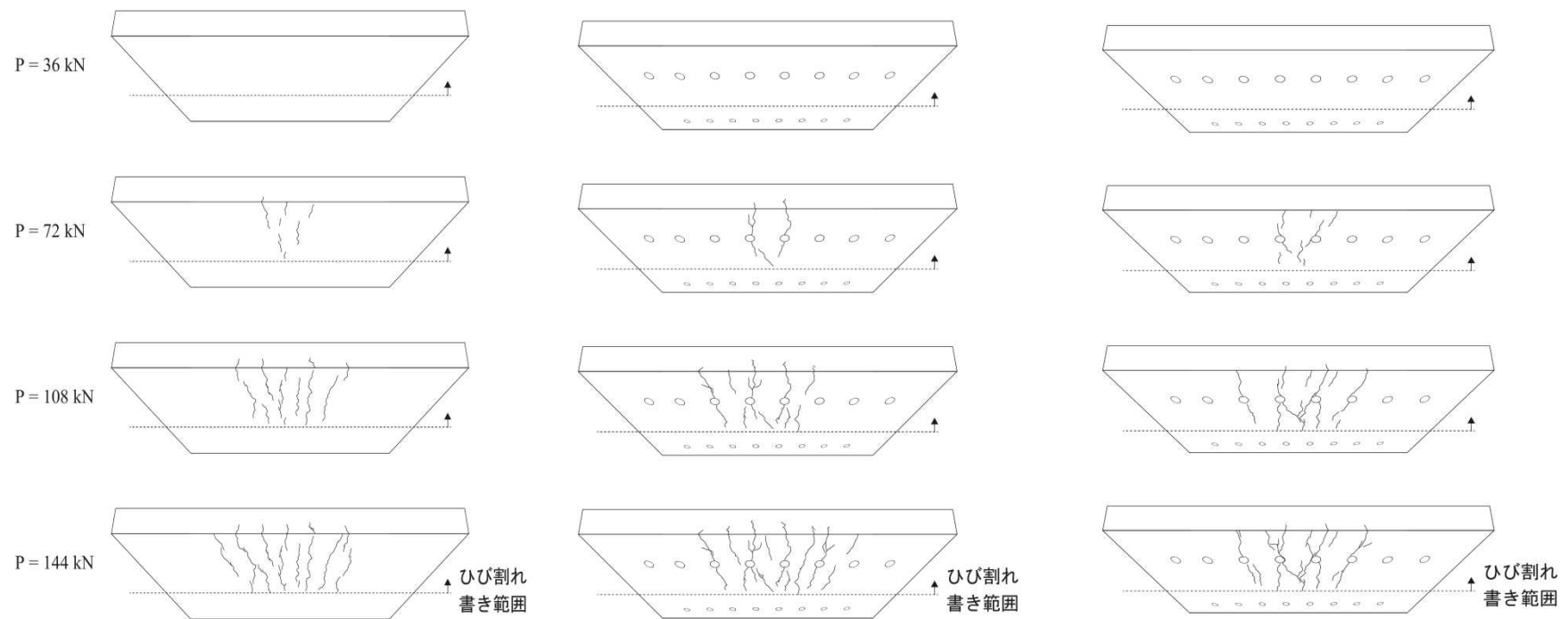
ひび割れ性状

実験より得た、各試験体のひび割れ性状から、それぞれ比較し考察する。

下図は、各荷重値載荷後における、各試験体の底部・側面のひび割れ性状である。ひび割れ書きの際に、レーザー式変位計に触れられないため、底部奥側のひび割れは書かれていない。下図より、各試験体で72kN載荷後にひび割れが発生している。

C/CP試験体に注目すると、削孔部付近へ延びるように、また、削孔部付近から延びるようにひび割れが発生していることが分かる。108kN・144kN載荷後のひび割れ性状を見ても、削孔部付近のひび割れが進展していることが分かる。

設計外力である36kN前に、ひび割れが発生している試験体がないことから、永久型枠工法の安全性が認められる。



N 試験体荷重別ひび割れ性状

C 試験体荷重別ひび割れ性状

CP 試験体荷重別ひび割れ性状

実 験 総 括

永久型枠工法において、ケーソン側壁に内部土圧が作用する場合の安全性の照査を目的とし、補修部のケーソンの側壁を模擬した1/2スケールRC梁を用いて、ボルト削孔による鉄筋切断を再現し、静的載荷実験により検証した。本研究により得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- 1) 設計上の最大曲げモーメントを作用させた場合では、扁平RC梁の鉄筋切断の有無によらず、ひび割れは見られなかった。
- 2) 外力をさらに大きくする場合においても、鉄筋切断の影響は小さい。ただし、変形が大きくなると鉄筋切断による荷重低下がみられる。
- 3) 永久型枠の取付けに伴う鉄筋切断が生じる場合においても、既設ケーソン壁の安全性はほとんど損なわれない。

以上のことが明らかとなり、既往の研究も踏まえ、永久型枠工法の安全性・実用性が明らかになった。

参考文献

- 1) 戸上卓也，栗橋祐介，南真樹，西谷内龍司：埋設型枠と水中不分離性モルタルで断面修復した扁平 RC 梁の静載荷実験，コンクリート工学年次論文集，2017.
- 2) 国土交通省東北地方整備局：防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル(案)－消波ブロック衝突による側壁損傷対策－，2007.1
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編），土木学会，2012.
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（中巻），2018.5
- 5) 南組，北日本港湾コンサルタント，室蘭工業大学：共同研究報告書（コアドリルによる一部の鉄筋が切断されたRCケーソン壁の安全確認実験），2019.3

永久型枠パネルと鋼板及びステンレス板被覆の 材料価格比較表

材料費 (鋼板、ステンレス板は販売業者からの見積)	規 格	価 格
鋼板	H=2m×W=5m 厚さ12mm 加工費、塗装費、設置用ボルト・ナット含む	3,055千円
ステンレス板 (SUS304)	H=2m×W=5m 厚さ9mm 加工費、設置用ボルト・ナット含む	2,900千円
永久型枠 パネル	H=2m×W=1m×5枚 設置用ボルト・ナット、 モルタル製差筋含む	1,264千円

※ 永久型枠と同等の面積で比較。

ご清聴、ありがとうございました。

永久型枠工法等お問い合わせ先：

〒058-0023 様似郡様似町栄町5番地

株式会社 南 組 Tel 0146-36-2311

E-mail : oda@minamigumi.co.jp (小田)

〒001-0052 札幌市豊平区月寒東2条17丁目3-75

株式会社 南 組 札幌支店 Tel 011-595-7082

E-mail : matsumoto@minamigumi.co.jp (松本)

コンクリート構造物の維持管理など、
当社の取り組みについてはこちら



www.minamigumi.co.jp