

論文 埋設型枠における高流動コンクリートを用いた打込み方法の影響

水野 剣一*1・谷口 修*2

要旨：埋設型枠背面に隙間が生じる原因としては、締固め不足などによる豆板のような充填不良も考えられるが、ブリーディングや気泡などもあり、これらの影響や低減方法について把握することが重要である。本研究では、高流動コンクリートを用いて、打込み方法の違いによる充填性と一体性の違いを把握することを目的とした。その結果、水平に対して 70° ~90° の勾配面では表面気泡面積率や空隙率は打込み方法による大きな違いは見られなかったものの、上から打ち込んだ場合のみ、埋設型枠背面にブリーディングが原因と思われる面状の隙間の発生が確認された。

キーワード：埋設型枠, 高流動コンクリート, 充填性, 圧入

1. はじめに

近年の作業員の高齢化により型枠大工などの熟練技能者の不足が見込まれる中、生産性向上に寄与する埋設型枠の使用実績が多くなっている。また、国土交通省では平成 30 年 6 月に「コンクリート構造物における埋設型枠・プレハブ鉄筋に関するガイドライン」が発表されるなど、埋設型枠が使用されやすい環境が整えられてきている。

通常の木製や金属製の型枠を使用したコンクリートでは、型枠脱型後にコンクリートの表面状態から豆板などの充填不良を目視で確認できる。しかし、埋設型枠を使用した場合には、目視で埋設型枠背面の充填状況を把握できない。また、埋設型枠背面に空洞が生じる原因としては、締固め不足などによる豆板のような充填不良も考えられる。このほかにも型枠側面を沿うブリーディングの影響^{1),2)}や、埋設型枠背面に滞留する気泡の影響も考えられる。埋設型枠と場所打ちコンクリートとの一体性を確実にするためには、充填不良発生の原因を把握することが重要である。さらに、充填不良を極力少なくする施工方法を検討していくことも重要と考えられる。筆者らは、これまで耐震補強工事などの巻立て厚が薄く埋設型枠と既設コンクリートとの間が狭隘な箇所を対象として、スランプ 12cm のコンクリートを使用した場合の施工について検討を行っている³⁾。スランプ 12cm では、埋設型枠背面に豆板や空洞が発生し、それらの補修はセメントスラリーが有効であることを示しているが、場所打ちコンクリートの施工を確実にするための施工方法を検討することも重要と考えられる。

そこで本研究では、バイブレータが挿入しにくい埋設型枠背面の狭隘部を対象として、充填性の高い高流動コンクリートを使用した場合の打込み方法の違いによる充填性や一体性の確保について把握することを目的とする。

なお、打込み方法については、コンクリートを上から打ち込む方法と、現在建築などで行われているコンクリート充填鋼管 (CFT) 工法のように下から圧入する方法とし、いずれもバイブレータなどの締固め機を使用しない条件で比較した。また、はじめに勾配による影響を無筋の試験体で検討したのち、実物モデルとして鉄筋を有する試験体で検討した。

2. 勾配による充填性実験

2.1 実験概要

(1) 試験体

埋設型枠の勾配による充填の違いを把握するため、勾配は水平に対して 70° , 80° , 90° の 3 水準とした。図

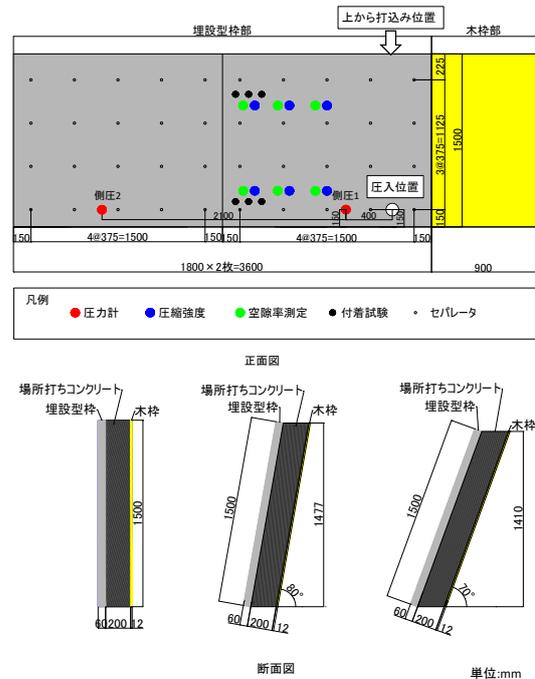


図-1 試験体

*1 五洋建設株式会社 技術研究所 土木技術開発部 修士 (工学) (正会員)

*2 五洋建設株式会社 技術研究所 土木技術開発部 博士 (工学) (正会員)

図-1に示す試験体を作製し、2種類の打込み方法で場所打ちコンクリートを打ち込んだ。使用した埋設型枠は長さ30mmのビニロン短繊維を混入した厚さ60mmの高強度モルタル製（曲げ強度8.0 N/mm²）であり、1800×1500mmのパネル形状である。埋設型枠背面は打継ぎ面処理剤と高圧ジェット水洗浄により目荒している。脱枠後のコンクリート表面状況を確認するために一部に木製型枠を使用した。圧入するため埋設型枠をφ110mmでコア抜きし、シャッターバルブなどの圧入治具を設置した。すべての試験体で充填性や一体性を確認するため図-1に示す位置で表面気泡面積率測定、空隙率測定、圧縮試験、付着試験を実施した。なお、各種試験の詳細は、2.2項に記載する。各ケースの内容を表-1に示す。管内圧力計は埋設型枠付近の圧入治具の圧送管の上部に設置した。

(2) 使用材料

場所打ちコンクリートは、近隣の生コン工場で製造されたレディーミクストコンクリート普通40 18 20Nをベースコンクリートとし、増粘剤一液型高性能 AE 減水剤などの混和剤を後添加することで、土木学会の高流動コンクリートの配合設計・施工指針の増粘剤系ランク 2⁴⁾を目標とした。使用した材料を表-2、配合を表-3に示す。なお、後添加の増粘剤が粉体であるため、水に溶かして添加している。各試験項目と試験結果を表-4に示す。

表-1 各ケース概要

case	打込み方法	勾配	側圧	管内圧力	各試験
上_70	上	70°	—	—	上・下各3箇所
上_80	上	80°	—	—	上・下各3箇所
上_90	上	90°	2箇所	—	上・下各3箇所
下_70	下	70°	—	1箇所	上・下各3箇所
下_80	下	80°	—	1箇所	上・下各3箇所
下_90	下	90°	2箇所	1箇所	上・下各3箇所

表-2 使用材料

配合名	使用材料	記号	種類	密度 (g/cm ³)
A ベース コンクリート	水	W	地下水(JIS A 5308 適合)	1.00
	セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15
	細骨材	S	宇都宮市産砂	2.60(表乾)
	粗骨材	G	佐野市産砕石 2005	2.75(表乾)
	混和剤	AD	ポリカルボン酸エーテル系化合物 (高性能 AE 減水剤)	1.05
B 後添加	混和剤	VSP	ポリカルボン酸系化合物と特殊増粘剤 (増粘剤一液型高性能 AE 減水剤)	1.06
		VA	セルロース系増粘剤	1.05

また、図-2に後添加前後のフレッシュ性状の写真を示す。スランブフローの目視観察では材料分離の少ない高流動コンクリートであることを確認した。また、ブリーディング量は、JIS A 1123による試験から後添加前後ともにほとんど発生しなかった。

表-3 コンクリート配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	S	G	AD	VSP	VA
A	40.1	51.4	4.5	175	436	858	858	3.92	—	—
B 外割	—	—	—	4	—	—	—	—	4.36	0.39

表-4 フレッシュ性状の各試験条件と試験結果

試験項目	試験方法	目標値	試験結果	
			A	B
スランブ	JIS A 1101	18±2.5cm	18.5cm	-
空気量	JIS A 1108	4.5±1.5%	4.6%	3.7%
コンクリート温度	JIS A 1156	-	28°C	28°C
スランブフロー	JIS A 1150	65.0±5.0cm	-	60.0cm
500mm 到達時間	JIS A 1150	3~15s	-	7.2s
U形充填性試験	JSCE-F 511 (障害 R2)	300mm 以上	-	320mm
V ₇₅ 漏斗試験	JSCE-F 512	7~20s	-	7.7s
ブリーディング量	JIS A 1123	-	なし	なし

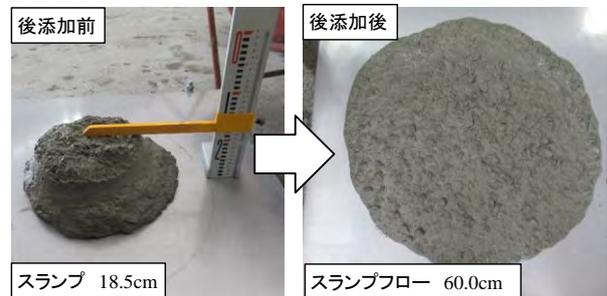


図-2 後添加前後のフレッシュ性状

(3)埋設型枠への側圧

Case 上_90とCase 下_90の側圧測定結果を図-3に示す。なお、側圧1, 2の位置は図-1に示す。コンクリートポンプは、真空スクイーズ式で低速モードでは、理論最大吐出圧2.5MPa、理論最大吐出量36m³/hの移動式を使用した。上からの打込みの最大落下高さは1.5mである。すべてのケースで半分の高さ(750mm)を打ち込んだ後、局所的に圧力が増加せずに打設面が平坦となるよう5分程度打込みを止めている。打込み終了時の圧力は、圧入側のCase 下_90の側圧1では、他に比べて5kPa程度大きい結果であったものの、圧入位置から2.5m離れたCase 下_90の側圧2では、上からの打込みと同様の圧力であった。圧力計の位置の液圧は、天端から1.35mの

ため、コンクリート単位容積質量 2.33g/cm^3 とすると、圧力計位置の液圧は 31.4kPa である。この値は Case 下_90 の側圧 1 の最終値とほぼ同程度であった。また、圧入管の管内圧力を図-4 に示す。勾配 90° で圧力が大きくなっており、 70° や 80° では低下している。勾配が大きくなると圧送がしやすくなるために低下したと考えられる。

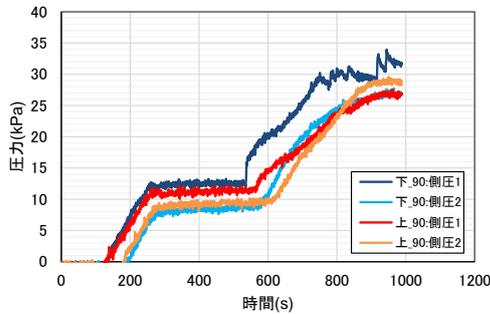


図-3 埋設型枠への側圧測定結果

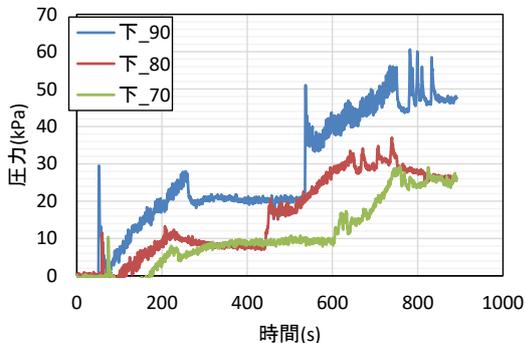


図-4 圧入管の圧力測定結果

の影響を減らすだけでは表面気泡の発生を大きく低減できないことが分かった。このため、表面気泡の発生原因の一つとしては、コンクリート内部にあった空気が上昇することによって表面気泡が発生していると考えられる。また、勾配による発生状況の違いは、上からの打込みでは、勾配が緩やかになるほど面積率は増加しているが、下から圧入した場合には 80° が異常に大きいこともあり、傾向が見られなかった。

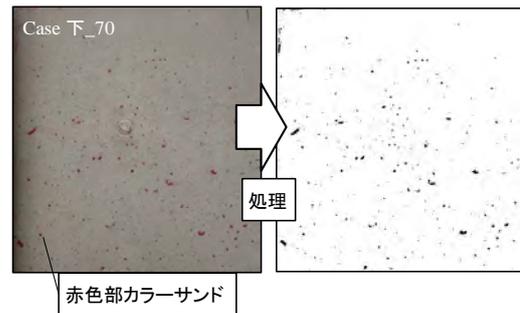


図-5 表面気泡面積率測定概要

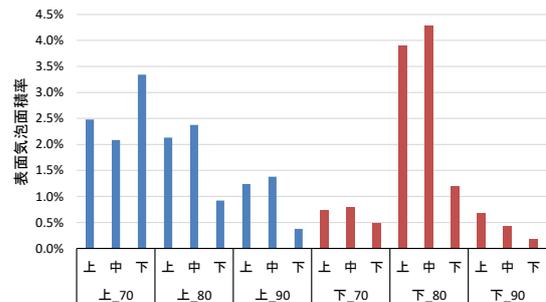


図-6 表面気泡面積率測定結果

2.2 各種試験結果

(1) 表面気泡面積率

表面気泡面積率は、木枠部分の脱型後に写真撮影により測定した。対象箇所の高さ方向の影響を確認するために、上下方向 1500mm を 3 分割、横方向 900mm を 2 分割とし、合計 6 分割 ($50\text{cm} \times 45\text{cm}$) とした。表面気泡率の測定方法は、まず粒径 $0.2 \sim 1.2\text{mm}$ の赤色カラーサンドを表面気泡に入れ、対象部分の画素数が $2500\text{pix} \times 2250\text{pix}$ 程度となるように撮影した。撮影画像は 256 階調の RGB 画像として処理できるため、R 値が G 値や B 値よりも 20 大きいピクセルを表面気泡として数え、全体のピクセル数で割ることで、機械的に表面気泡面積率を算定した。

撮影した画像と処理した画像を図-5 に、それらの結果を図-6 に示す。同条件での高さ方向による違いは、Case 上_70 以外は、下側の方が小さくなる傾向となった。Case 上_70 は下端部に多く発生していた。勾配 70° や 90° ではやや下から圧入の方が表面気泡は少なかったものの、勾配 80° では下から圧入でも表面気泡が多く発生した。このことから、施工時の自由落下による巻き込み

(2) コア採取による空隙率測定

埋設型枠付近の空隙を評価するため、材齢 28 日後に $\phi 100$ のコアを採取した。埋設型枠部を含めて長さ 150mm とし、水中に 1 日間浸漬させた後、質量を測定した。その後、 100°C の乾燥炉で 1 日間乾燥させて質量を測定し、その差分を体積で割った百分率を空隙率とした。この方法では、骨材の空隙部分も含んだ値が得られるため、フレッシュ性状の空気量とは異なるのでここでは空隙率としている。その結果を図-7 に示す。各ケースでの値は 3 本の平均値である。この結果も表面気泡面積率と同様に Case 下_80 が最も大きな値であった。このため、Case 下_80 はほかに比べて空気量の多いコンクリートが充填された可能性があり、表面気泡が多くなった原因の一因と考えられる。上から打込みでは Case 上_90 の空隙率が大きくなっているものの、表面気泡面積率は小さい。このことから Case 上_90 は空気量が多かったものの、表面気泡の発生は小さかったと考えられる。このため、本結果を考慮しても上から打込みでは勾配が緩やかなほど表面気泡は多くなる傾向であったと考えられる。

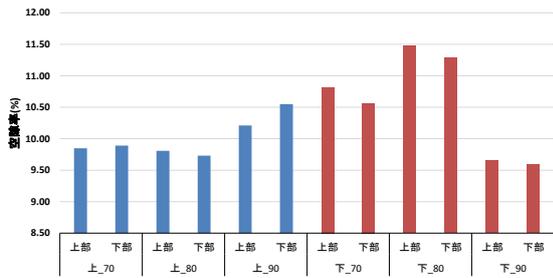


図-7 空隙率測定結果

(3) 圧縮強度

埋設型枠と場所打ちコンクリートとの一体性を確認するため、材齢 28 日後にφ100のコアを採取し圧縮強度試験を実施した。一部のコアに埋設型枠背面に隙間が生じているものが確認された。そのコアの写真の一例を図-8に示す。どちらの打込み方法でも気泡によって隙間が発生していた。気泡と思われる隙間の大きさは、長さ10~20mm、幅5~10mmの楕円形状であったが、これ以外にも一部気泡のような形状でない隙間が上から打込みで採取したコアに発生していた。この隙間の形状は、幅2~3mm程度と小さいものの、長さ45mmや90mmと長い面状の隙間であった。この長さをコアの周長(約314mm)で割った割合で表すと、長さ45mmではコアの周長に対して14%、長さ90mmでは29%の割合であった。

圧縮強度試験は、コアを埋設型枠部含めて長さ200mmとし、材齢28日でJIS A 1108に従って実施した。その結果を図-9に示す。隙間のないコアの平均値は49.6N/mm²(29箇所)、気泡があるコアの平均値は47.6N/mm²(5箇所)、面状の隙間があるコアの平均値は43.6N/mm²(2箇所)であった。ただし、面状の隙間があるコアは2箇所のみであり、長さ90mmでは38.9N/mm²と隙間のないコアの平均よりも2割程度小さいものの、長さ45mmでは48.5N/mm²と他の試験体とあまり変わらない値であった。また、埋設型枠背面に気泡があるコアも若干強度が小さいものの、約4%の差となっており、気泡の影響は圧縮強度に対してかなり小さいと考えられる。

上部と下部のコアの強度比を各ケースでまとめた結果を図-10に示す。ただし、圧縮強度が大きく異なった長さ90mmの面状の隙間が生じたコアは除いている。全体的に上部の強度が小さくなる傾向であり、特に上から打ち込んだ場合では、下からの圧入に比べて若干上部が小さい傾向となった。この違いの原因としては、打ち込み高さが大きいほど部材の上下に強度差が生じ、上層部ではコンクリートの分離や沈降によって強度発現が小さく、下層部はコンクリートの側圧や圧密によって強度が増加することが示されており⁹⁾、今回の実験での上からの打設ほど打ち込み高さが大きくなるため同様の現象が生じたものと考えられる。また、このことから面状の隙間が

生じた理由としては、ブリーディング試験ではブリーディング量はなかったものの、試験では上面に到達しなく型枠界面や骨材下に留まる程度の少量なブリーディング⁹⁾が集まったことで発生したのではないかと推察される。さらに上から打込みのみ発生した原因としては、打ち込み高さが高いほど落下の衝撃によって材料分離が生じやすく¹⁾、少量のブリーディングも発生しやすいと考えられる。一方、下からの圧入では、落下の影響もないため材料分離が生じにくいことから面状の隙間にはならなかったものと推測する。

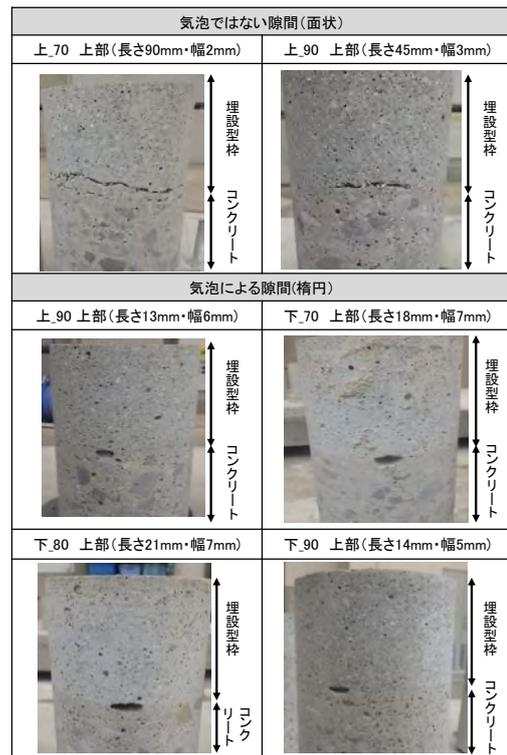


図-8 隙間のあるコアの写真

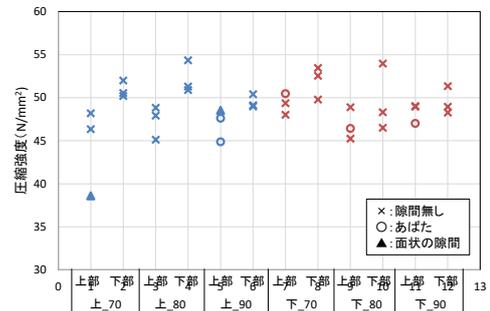


図-9 圧縮強度試験結果

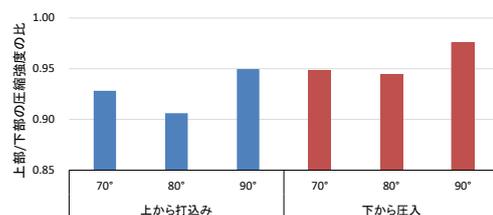


図-10 上部と下部の圧縮強度比

(4) 付着強度

埋設型枠と場所打ちコンクリートとの一体性を確認するために付着強度試験を行った。場所打ちコンクリートと埋設型枠との付着強度を測定するため、コンクリート構造物用断面修復材の試験方法 (JSCE-K 561) を参考に直径 52mm のコアドリルで埋設型枠表面から 100mm 切込みを入れた後、エポキシ樹脂系接着剤で直径 50mm の鋼製接着板を埋設型枠表面に張り付け、接着剤硬化後、接着板を単軸引張試験によって破断させた。この破断時の張力を破断した断面積で割り付着強度を算出した。使用した試験機器は、測定範囲 0~20.00kN で測定精度 0.01kN である。付着強度試験結果を図-11 に示す。各ケースでの値は 3 本の平均値である。ただし、破断位置は境界面以外での破壊が多く、それらの内訳は境界面で 2 箇所、場所打ちコンクリートで 12 箇所、埋設型枠で 22 箇所であった。打込み方法や勾配による大きな違いはみられなかった。また、表面保護工法の設計施工指針 (案)⁹⁾ の断面修復工法に記載されている 1.0N/mm² 以上を大きく超えていることを確認した。

3. 鉄筋を配置した実大規模実験

3.1 実大規模試験体概要

無筋での型枠の勾配 70°~90° では傾斜による影響はあまり見られなかったものの、上から打込みの場合には面状の隙間が発生していた。この原因が材料分離やブリーディングによって発生していると考えられるため、鉄筋を配置した場合には、打込み時の鉄筋の影響により材料分離がより発生しやすいと考えられる。このため、図-12 のような実大規模の試験体で確認した。

試験体は、既設構造物を増厚で補強する構造とし、埋設型枠を使用することを想定した。増厚部の場所打ちコンクリートの厚さは 192mm とし、場所打ちコンクリート内には主筋 D41、配筋筋 D19 を 250mm ピッチで配置し、埋設型枠背面から主筋まで芯かぶり 150mm とした。また、試験体の既設構造物の界面は、打継ぎ面処理剤と高圧ジェット水洗浄により目荒した。

勾配面への充填性実験と同様に土木学会の高流動コンクリートの配合設計・施工指針の増粘剤系ランク 2⁴⁾ を目標とした。この時、空気量は 1.4% と小さい値となったものの、本実験では埋設型枠背面の気泡の影響よりブリーディングによる影響に着眼しているため、空気の影響を少なくできることからこの配合を使用した。なお、スランプフロー試験結果は 66.5cm であった。上から打ち込む際はコンクリートポンプ車の筒先にサニーホースを接続して、筒先と打込み面までの高さが 1.5m 以下となるように打ち込んだ。下からの圧入については、勾配面への充填性実験と同様に行った。

3.2 隙間の発生について

型枠脱型後の側面の写真と側面から 20cm 離れた位置で採取したコア (φ100) の写真を図-13 に示す。上から打込みでは埋設型枠背面に幅 3mm 程度の隙間が発生しており、側面からコア採取位置付近まで広範囲に隙間が広がっていると考えられる。また、採取したコアに発生していた隙間は、コア周長の 30% であった。なお、下から圧入した場合には、同一箇所でもコア抜きした結果で隙間は確認されなかった。

打込み時に採取した場所打ちコンクリートの材齢 28 日の圧縮強度は 57.4N/mm² (3 本の平均) であり、下から圧

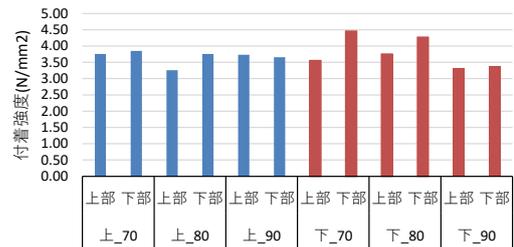


図-11 付着強度試験結果

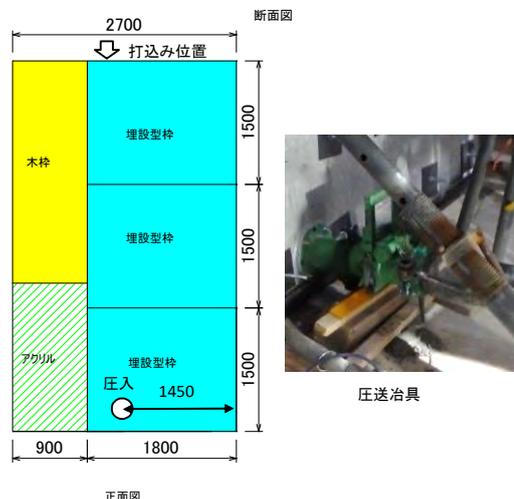
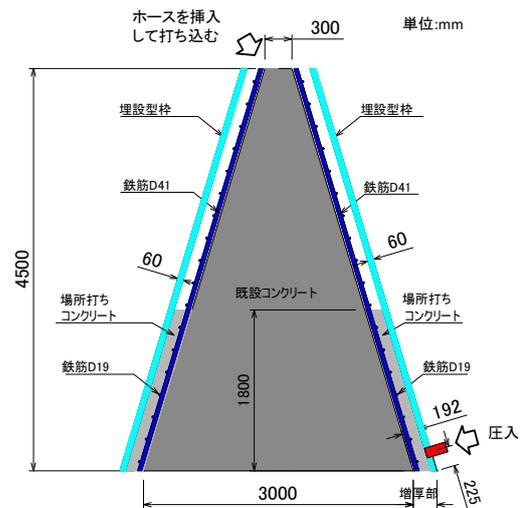


図-12 試験体概要図

入の隙間のないコアの圧縮強度は 54.9N/mm²(1 本)と同程度であった。一方、隙間のあるコアは 1 本のみの測定であるが圧縮強度は 38.7N/mm² であり、3 割程度低下していた。

隙間の発生原因としては、サニーホースを使用しているものの 4.5m の高所からコンクリートを落下させたことや配力筋を通過しながら落下したことによって材料分離がより発生したのではないかと考えられる。また、コンクリートを側方に流動させたことで側面に集まったと考えられる。他の部分の隙間を確認するため、埋設型枠をすべてはつり取ったが他では確認されなかった。

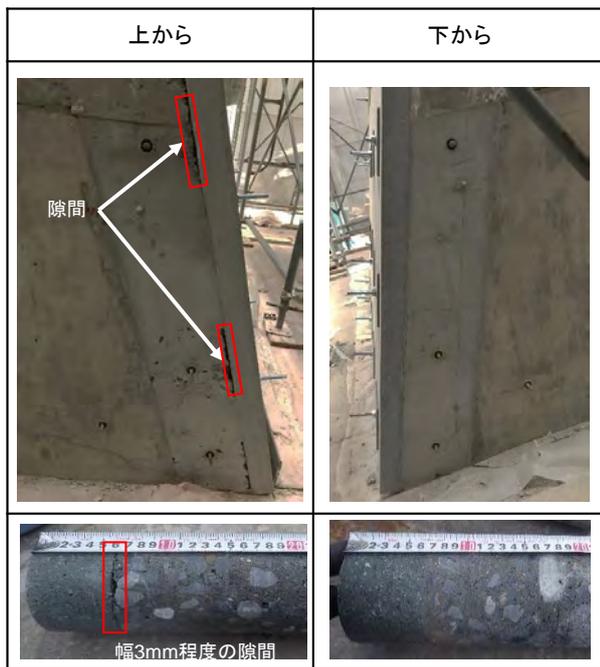


図-13 側面と周囲をコア抜きした写真

4. まとめ

本研究は、埋設型枠の背面を確実に充填する方法として、高流動コンクリートを用いて打込み方法の違いによる充填性や一体性の検討を行ったものである。

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 表面気泡面積率は、上から打込みでは 70° ~90° の勾配面が小さくなるとやや小さくなる傾向がみられた。下から圧入では 80° が異常に大きいことで勾配による影響が確認できなかった。
- (2) 埋設型枠の背面に気泡が存在しているコア(長さ 10 ~20mm 程度, 幅 5~10mm 程度)は存在していないものに比べて、埋設型枠と場所打ちコンクリート一体での圧縮強度は若干小さいものの、約 4%の差となっており、気泡による影響はかなり小さいと考えられた。
- (3) 上から打込みの場合、埋設型枠と場所打ちコンクリ

ートの境界に面状の隙間が発生しており、上部と下部の強度比などから材料分離や少量のブリーディングによって発生しているのではないかと考えられた。

- (4) 埋設型枠と場所打ちコンクリート一体の圧縮強度は、埋設型枠背面に幅 2~3mm の面状の隙間が発生している部分では、コア円周に対して隙間が 14%の場合にはあまり影響がなかったものの、28%では 2 割程度低下していた。
- (5) 実大規模試験体においても上から打込みでは埋設型枠背面に面状の隙間が発生した。原因としては、サニーホースを使用しているものの高所からコンクリートを落下させたことや配力筋を通過しながら落下させたことによって、材料分離やブリーディングがより多く発生したと考えられる。本ケースでは下から圧入の方が一体性を確実に確保できると考えられた。

参考文献

- 1) 三田 勝也, 加藤 佳孝: 型枠界面に生じるブリーディング水の挙動に関する実験的検討, 土木学会論文集, Vol.71, No.4, pp.385-397, 2015
- 2) 犬飼 利嗣, 畑中 重光, 三島 直生, 金子 林爾: 視覚的評価方法によるコンクリート中のブリーディング挙動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.609-614, 2004
- 3) 水野 剣一, 谷口 修, 綾野 克紀: 埋設型枠背面の空洞におけるセメント系材料の補修方法に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文論文集, 第 19 巻, pp.235-240, 2019. 10
- 4) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, pp.86-87, 2012
- 5) 日本コンクリート工学会: 構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会報告書, p.6, 2017
- 6) 日本建築学会: 構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点, p.92, 1987
- 7) 吉田 幸夫, 水野 英二, 畑中 重光, ブリーディング層を有するコンファインドコンクリートの三次元一軸圧縮 FEM 解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, 2005
- 8) 忽那 惇, 田中 亮一, 福手 勤, 網野 貴彦: 施工条件の違いがブリーディング量および型枠表層品質に与える影響, 第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.647-648, 2016
- 9) 土木学会: 表面保護工法設計施工指針(案) [鋼種別マニュアル編], コンクリートラブラリー119, pp.220-221, 2005. 8