

報告 高強度連壁コンクリートの実施工における品質

安田 敏夫*1・今田 直登*2・沖 誠一*3・青木 茂*4

要旨：広島ガス(株)廿日市工場において建設を行っているピットイン式（地中式）のNo.2 LNGタンク（85,000kl）では、土留め支保として高強度の連続地中壁（以降、連壁と称す）を採用した。この連壁の設計基準強度は 60N/mm^2 、配合強度 80N/mm^2 であり、骨材事情が特に厳しい西日本の連壁としては、最も高強度の領域である。この報文では、この連壁に用いた高強度コンクリートの施工時の品質管理結果および施工結果について報告する。

キーワード：連続地中壁、高強度コンクリート、低熱ポルトランドセメント、施工性

1. はじめに

広島ガス(株)廿日市工場（図-1）は、昭和 47 年から 51 年にかけて廿日市市沖に埋め立てられた造成地である。平成 4 年から 5 年にかけて同工場内でピットイン式（地中式）のNo.1 LNGタンクの建設を行った¹⁾。No.1 タンクでは、連壁コンクリートとして設計基準強度 45N/mm^2 のコンクリートを使用した²⁾が、No.2 タンクでは、施工性の向上、工期の短縮、連壁の薄肉化、それに伴う掘削残土の低減等を総合的に判断し設計基準強度 60N/mm^2 の高強度コンクリートを採用した。これは、骨材事情が厳しい西日本ではもちろんのこと国内でも連壁としては最も高強度領域のコンクリートである。この報文では、この連壁に用いた高強度コンクリートの施工時の品質管理結果および施工結果について報告する。

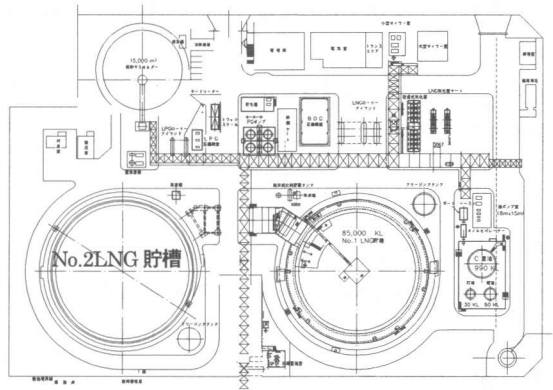


図-1 廿日市工場レイアウト

No.1 タンクでは、躯体工事を逆巻き工法で行ったが、今回も同様に逆巻き工法で行うと、狭い施工エリア（No.1 タンクの約 60%）では、施工上、内部掘削工事で躯体工事を交互に行うことは非常に困難であり、工期が増大することが考えられた。そこで、現状における連壁の品質向上を勘案し、連壁の強度を設計基準強度 60N/mm^2 とし順巻き工法を採用することとした。高強度化によって壁厚を低減することが可能となり、掘削量も低減する。なお、連壁

2. 高強度コンクリート採用の経緯

高強度コンクリートの採用に当たっては、No.2 タンクの設計段階で施工条件等を考慮し決定した。

*1：(株)大林組 東京本社 土木技術本部 技術第五部 課長代理 工修（正会員）

*2：広島ガス(株) 技術本部 工務部 係長

*3：(株)大林組 広島支店 広島ガスLNGJV工事事務所 工事長 工修

*4：(株)大林組 東京本社 土木技術本部 技術第五部 課長 工博（正会員）

掘削機の台数も制限されたが、掘削能力の高い掘削機を採用し、工期短縮を図ることとした。

以上より、No.1タンクのコンクリートの設計基準強度 45 N/mm²、壁厚 1.1mから、No.2タンクでは設計基準強度 60 N/mm²、壁厚 1.0mの高強度でより薄い連壁を採用した。連壁構造安定性については内部掘削時に情報化施工を行い逐次検証し施工を進めた。

3. 連壁コンクリートの配合

3.1 品質基準

連壁コンクリートの品質基準を表-1に示す。設計基準強度に対して、過去の実績²⁾より泥水への打設による強度の低減率(0.9)を考慮し、呼び強度を67(=60/0.9) N/mm²とした。プラントでの変動に対する割増し係数は、特殊な配合であることを考慮し、1.2(変動係数約10%相当)とし、配合強度を(60/0.9×1.2=)80N/mm²(材齢91日)とした。

単位セメント量が多くなり、コンクリートの粘性が大きくなると考えられたため、トレミー打設での施工性を考慮し、スランプフローを65±5cmとした。なお、スランプフロー、空気量はプラントからの運搬距離、施工速度等を考慮し練混ぜ後90分まで保持するものとした。なお、粘性についてはO漏斗の流下時間で検証³⁾した。施工可能な範囲は、4～27秒⁴⁾程度であるが、施工速度(打上げ速度10m/h程度を目標)等を考慮し、ここでは目標として5～20秒とした。

3.2 コンクリートの配合

連壁コンクリートは打設現場近傍の生コンプラント2社(それぞれをH、S社と称す)より納入することとした。

使用材料を表-2に示す。セメントは、長期材齢での強度発現性、施工時の粘性の低減⁴⁾、および、温度ひび割れ低減⁵⁾を考慮し、低熱ポ

表-1 連壁コンクリートの品質基準

圧縮強度(N/mm ²)		フレッシュ性状	
設計基準強度	配合強度	スランプフロー(cm)	空気量(%)
60	80	65±5	4.5±1.5

[注] 圧縮強度：材齢91日

スランプフロー、空気量は練混ぜ後90分まで保持すること。

表-2 使用材料

	略号	名称、産地、主成分等 (数字)は、密度または表乾密度
セメント	C	低熱ポルトランドセメント (3.24)
細骨材	S1, S2	H社 S1:海砂(2.56) S2:石灰石砕砂(2.66) S社 S1:海砂(2.62) S2:加工砂(2.59)
粗骨材	G	H社:石灰石砕石(2.71) G _{MAX} =20mm S社:石灰石砕石(2.69) G _{MAX} =20mm
混和剤	Ad	高性能A/E減水剤:ポリカルボン酸系

ルトランドセメントとした。混和剤は近年、高流動コンクリートで使用実績の多いポリカルボン酸系の高性能A/E減水剤とした。骨材については各プラントで通常使用している骨材を用いたが、広島地区は県内での海砂採取が全面禁止となる等、骨材事情が厳しく⁶⁾、特にS社は細骨材の一部に風化花崗岩を粉砕・洗浄処理した‘加工砂’を使用した。加工砂は、通常のコンクリート配合では、多くのプラントで使用され、実績は多いが、配合強度80N/mm²等での特殊なコンクリートの実績は少なく、フレッシュ性状、硬化性状に及ぼす影響が不明であった。

配合は、室内試験と実機試験を行い選定した。室内試験(平成10年12月実施)では、フレッシュ性状(経時変化)およびセメント水比と強度の関係を検証し、実機試験(平成11年4月実施)に用いる配合を選定した。実機試験では、室内試験結果より選定した配合により、室内ミキサと実機ミキサでの品質(フレッシュ性状、硬化性状)の差異を確認し、示方配合を選定した。配合を表-3に実機試験時のスランプフローの経時変化を図-2に圧縮強度データを図-3(材齢は対数表示)に示す。

水セメント比は、H社が29.5%に対してS社が28.0%とS社の方が小さくなった。これは、種々の要因が重なったためと考えられるが、

S社の細骨材の一部が強度の低い風化花崗岩より製造された加工砂であることも要因の一つと考えられる。

スランプフローは、練混ぜ直後より徐々にロスしていくが品質基準内に管理することが十分可能と考えられた。加工砂は、原石、製造方式や製造方法等により品質が異なり、混和剤の種類によっては混和剤量の増加や、スランプフローの経時低下の増大が懸念されたが、今回の加工砂はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤に対しては、混和剤量やフレッシュ性状に大きな影響を与えなかった。

圧縮強度は、材齢を対数として表した材齢軸上でほぼ直線的に伸び、管理材齢 91 日で配合強度 80 N/mm²を上回った。

なお、この連壁コンクリートは、フレッシュ性状に温度依存性があると考えられたため、選定した配合にて実打設直前（平成 11 年 8 月）において、実機ミキサにてフレッシュ性状を確認し、混和剤量を微調整し、実施工に至った。

4. 施工結果

4.1 施工概要

連壁は、内径 64.7m（設計）、壁厚 1.0m、深さ 74mであり、全体を先行エレメント、後行エレメント計 44 エレメントに分割した。先行エレメント、後行エレメントの平面形状（余掘り含む）を図-4に示す。連壁の施工は、1 エレメント毎に①ケリー先行掘削、②ハイドロブレーズ掘削、③スライム処理・良液置換、④鉄筋籠建込み、⑤コンクリート打設の順で行ったが、この報文では、コンクリート打設およびその打設結果について報告する。

連壁コンクリートの打設は、平成 11 年 8 月下旬から平成 12 年 2 月下旬までの約 6 ヶ月間で行った。

4.2 製造管理

高性能AE減水剤は、温度依存性があるため、打設日の外気温、コンクリート温度を考慮し、使用量を両プラント共、セメント量の 1.5～

表-3 連壁コンクリートの示方配合

工場	G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					A d (C×%)
				W	C	S 1	S 2	G	
H	20	29.5	50.0	168	569	392	407	827	1.6
S		28.0	50.0	168	600	514	272	810	1.7

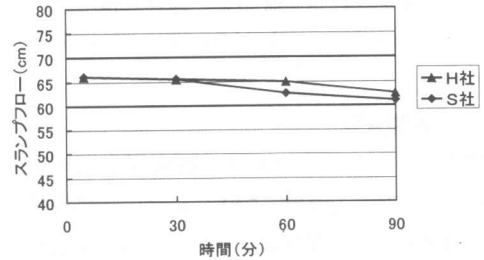


図-2 実機試験・スランプフローの経時変化

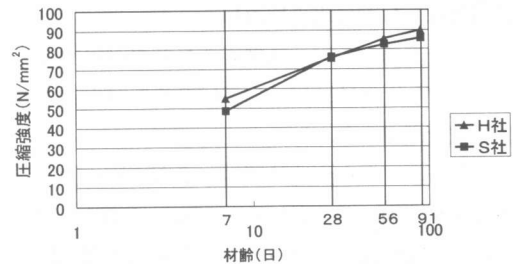


図-3 実機試験・圧縮強度の経時変化

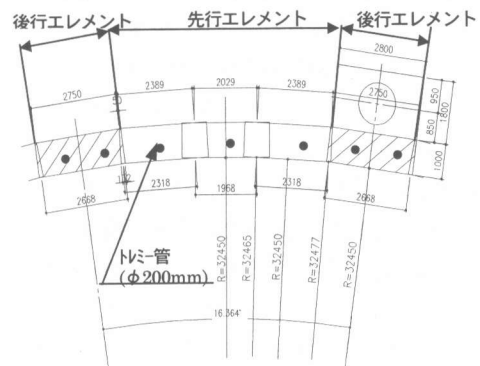


図-4 連壁・エレメント割付

2.0%の間で微調整した。

打設当日、連壁コンクリート製造前に、骨材の粒度分布を確認する（試料は前日採取）とともに骨材の表面水率の測定を行った。細骨材に

については、2時間毎に表面水率を測定し、適宜現場配合を修正した。併行して、練混ぜ時のミキサの負荷値を記録し、性状の変化等をチェックした。

打設日当日の外気温の変動が大きい場合等は、現場での品質管理試験結果およびプラントにおいてフレッシュ性状を確認し、適宜混和剤量を微調整し、コンクリートのフレッシュ性状を安定させた。

4.3 品質管理

打設時のスランプフローの試験結果を図－5に、コンクリート温度、500mm フロー到達時間とO漏斗流下時間を図－6に、圧縮強度試験結果を図－7、表－4に示す。なお、図－6については、H社、S社共ほぼ同様の傾向を示していたので、ここではS社の結果を示す（各試験結果は、打設日の平均値）。

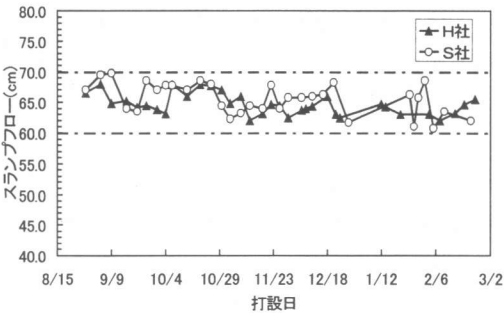
スランプフローは、高性能AE減水剤の使用量を調整したため、ばらつきはあるものの基準値内で管理できた。

500mm フロー到達時間は、夏期で約4秒、冬期で約6秒、O 漏斗流下時間は、夏期で約9秒、冬期で約12秒と若干であるが冬期で長くなる傾向が見られた。これは、コンクリートの粘性がコンクリート温度低下に伴い、大きくなったためと考えられる。なお、セメント量が多い配合であったが、粘性が比較的小さかったのは、低熱ポルトランドセメントを使用したためと考えられる。

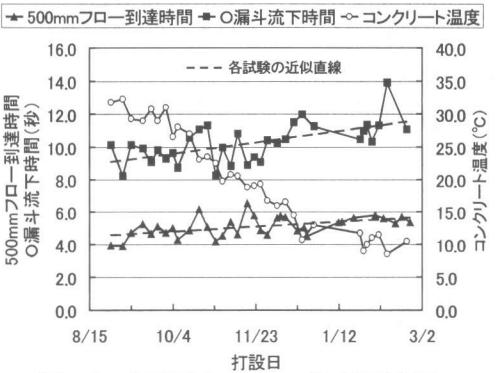
圧縮強度（材齢91日）は、打設日の平均では全て配合強度以上となった。変動係数はH社で3.6％、S社で4.7％となり、当初想定した10％より大幅に小さくなった。これは、細骨材の表面水率の計測数を多くしたことやミキサの負荷値を記録するなどの製造時の管理によるものだと考えられる。

4.4 打設管理

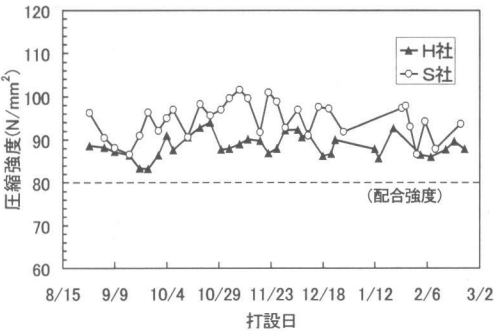
連壁コンクリートは、φ200mm のトレミー管（先行エレメントでは3本、後行エレメントでは2本；図－4参照）を用いて打設した。ト



図－5 打設時のスランプフロー試験結果



図－6 打設時の 500mm フロー到達時間、O漏斗流下時間、コンクリート温度(S社)



図－7 打設時の圧縮強度試験結果

表－4 打設時の圧縮強度試験結果

	データ数 (個)	平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	変動係数 (%)
H社	92	88.8	3.2	3.6
S社	63	94.5	4.5	4.7

レミー管先端高さとコンクリート打上げ面を逐次測定し、トレミー管の挿入深さを2～9mとした。溝壁内の打上げ速度の目標値は、過去の実績より10m/h程度とした。打上げ速度10m/hとは先行エレメント、トレミー管1本当りりの打設量は、約23m³/hに相当する。実施工では、打設時期に関係なく8～12m/hの範囲で施工した。前述の通り冬期にコンクリートの粘性が大きくなったが、打設速度に影響を与えるまでには至らなかった。このことは、500mm フロー到達時間6秒程度、○漏斗流下時間12秒程度の粘性は、今回の施工条件（トレミー管1本当りりの打設速度約23m³/h）に十分対応可能な粘性であったことを示している。

4.5 内部掘削時の計測による情報化施工

連壁構築後、内部の掘削を行ったが、その際、連壁内に設置した鉄筋ひずみ計、コンクリート有効応力計等により情報化施工を行い、連壁の構造安定性を各掘削段階で検証し掘削を進めた。なお、内部掘削は平成12年4月上旬より開始し、平成12年7月上旬に終了した。

連壁の構造安全性は管理値と計測値を対比することで検証した。管理値は、土水圧より算出した解析結果を1次管理値とし、また、荷重のばらつき、施工誤差を考慮し、1次管理値の1.3倍を2次管理値とした。仮設時のコンクリートの許容応力度（17.5N/mm²⁷⁾×1.5倍=26.3N/mm²を3次管理値とした。1次管理値を超えた場合は、計測管理の強化、2次管理値を超えた場合は、原因の調査、対策の検討、2次管理値から3次管理値付近まで応力が増加する場合は対策の実施等を管理規準とした。なお、管理値は、掘削深さ7m毎に求めた。なお、これらの管理値等を求める際のコンクリートのヤング係数はコンクリート標準示方書において示されている設計基準強度60N/mm²のコンクリートのヤング係数（35kN/mm²）を用いた。

図-8は、掘削深さ-41.0m時のコンクリート応力（鉄筋計より換算）の計測結果および管

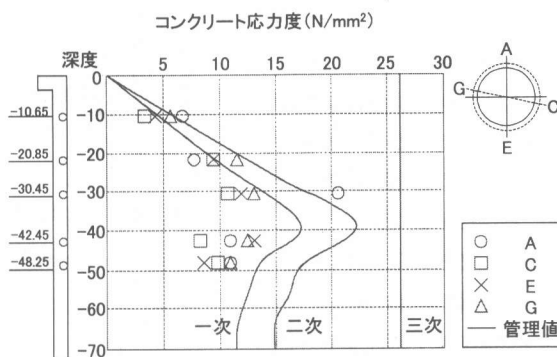


図-8 連壁のコンクリート応力度

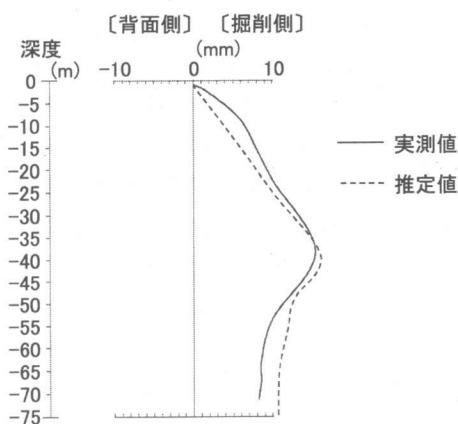


図-9 連壁の変位計測結果

理値（掘削深さ-42.0mにおける解析値）を示す。計測値はばらつきはあるもののほぼ2次管理値内に分布している。

図-9は、最終掘削終了時の連壁の変位測定結果である。変位は、全体的には推定値とほぼ一致した。このことは、実際のコンクリートのヤング係数がほぼ標準示方書におけるヤング係数と同程度であったことを示す。

図-10にコンクリートの有効応力計と鉄筋計から得られるヤング係数比nの経時変化を示す。掘削は4月1日（コンクリートの材齢約6ヶ月）より始め、5月19日に深度-21m、6月26日に深度-44mに達した。図中実線は、深さ-21m、点線は深さ-42.5mの値を示している。この経時変化図から、計器位置での躯体の応力増加が極めて小さく、個々の計器の応

力増分もばらついたと考えられる掘削初期を除いて、期間を通してヤング係数比 n がほぼ6であった。このことも、実際のヤング係数が標準示方書におけるヤング係数とほぼ一致したことを示している。

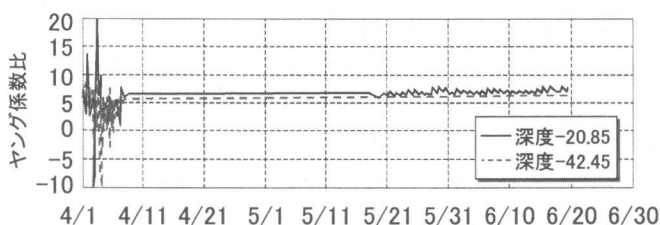


図-10 ヤング係数比の経時変化

4.6 連壁表面の状況

内部掘削終了時に連壁表面（内側）の状況を目視により調査した。

先行エレメント8ヶ所の上部付近に水走りが見られたが、コンクリートの性状（品質試験結果）等との相関は見られなかった。

背面からの水のにじみも見られるエレメントや、後行エレメントで先行エレメントに拘束された収縮ひび割れ（水平ひび割れ）も見られたが、全体的には漏水が非常に少ない良好な仕上がりであった。

5. まとめ

広島ガス(株)廿日市工場のNo.2 LNGタンクでは、連壁としては国内では最も高強度の領域である設計基準強度 60N/mm^2 、配合強度 80N/mm^2 の高強度コンクリートを採用した。

本報文では、この連壁の施工結果を報告したが、この報文で明らかになったことを列挙する。

- ① 骨材事情が厳しい広島地区で配合強度 80N/mm^2 という高強度コンクリートでの連壁施工が可能であり、製造管理を強化することで、比較的ばらつきの小さい品質を得ることが可能であった。
- ② 粘性が小さい低熱ポルトランドセメントを用いることにより、単位セメント量 600kg/m^3 程度のコンクリートにおいて500mm フロー到達時間で4～8秒程度にすることが可能であった。また、この粘性では、今回の施工条件での目標打上げ速度を遅らせることはなかった。
- ③ 内部掘削時において情報化施工を行ったが、コンクリート応力の実測値がほぼ、2次管

理値内となる結果を得た。また、変位計測結果等より、連壁コンクリートが所要の剛性を発現していたことも確認できた。

参考文献

- 1) 岡本博禎ほか：ピットイン式LNG貯槽（8万 5000k l）の建設，コンクリート工学，Vol.32, No.4, pp.40-53, 1994.4
- 2) 青木茂ほか：超高強度・低発熱連壁コンクリートの実施における壁体の硬化特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.1, pp.273-278, 1996
- 3) 青木茂ほか：ロート流下時間による高強度連壁コンクリートの施工性判定に関する一考察，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第五部，pp.396-397, 1993.9
- 4) 三浦律彦ほか：高ピーライトセメントの高強度地中連続壁コンクリートへの適用性に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16, No.1, pp.271-276, 1994
- 5) 青木茂ほか：高ピーライトセメントを用いた高強度連壁コンクリートの品質特性，セメントコンクリート論文集，No.50, pp.696-701, 1996
- 6) 例えば，古井博：特集＊骨材問題を考える／4．地域別骨材事情 広島地区，コンクリート工学，Vol.34, No.7, pp.58-61, 1996.7
- 7) 土木学会：高強度コンクリートの設計施工指針（案）