

かぶりコンクリートの透気性に関する竣工検査 —スイスにおける指針—

半井健一郎^{*1}・蔵重 勲^{*2}・岸 利治^{*3}

概 要 コンクリート構造物の耐久性能を直接的に確認することを目的とし、スイスでは、竣工時に非破壊の透気試験によって実構造物のかぶりコンクリートの品質（物質移動抵抗性）を検査するために必要となる指針を作成している。プロセス検査ではなく、最終的な製品の耐久性能を直接的に検査する本手法は、耐久性の確保や向上、技術開発につながるものと期待される新たな取組みである。本稿ではその概要を紹介する。

キーワード：耐久性、耐久性指標、竣工検査、透気性、かぶりコンクリート

1. はじめに

コンクリート構造物において耐久性が重要であることは言うまでもないが、一般には、適切な設計・施工とプロセス検査によって所要の耐久性が保証されているはずであるというのが現状である。裏を返せば、直接的な検証は十分とはいえない現状がある。かぶりの厚さについての検査は行われることも多くなっているものの、同時に重要となる、かぶりコンクリートの品質については、土木学会コンクリート標準示方書施工編では非破壊試験による検査を実施することになっているものの、実際には普及していない。これら日本の現状に対し、スイスではかぶりコンクリートの耐久性能の直接的な検査に関する先進的な取組みを進めている。具体的には、竣工時に非破壊の透気試験によって完成した実構造物のかぶりコンクリートの品質を直接的に検証するための検査指針案を作成している。本稿では、指針作成を担当する F. Jacobs 博士 (TFB) および R. Torrent 博士 (HGRS) から得た情報をもとに、その概要を紹介する。

2. スイスにおけるコンクリートの現状

スイスでは欧州規格を採用し、コンクリートの製造においては EN 206-1 (Concrete Part 1: Specification, performance, production and conformity) が基本とされている。

スイスにおいて消費されているセメントは、1990 年度半ばまでは CEM I (ポルトランドセメント) の普通ポルトランドセメントがほとんどを占めていたが、徐々に 5～15% の石灰石微粉末を混合した CEM II (混合セ

メント) が環境負荷低減の観点から増加してきた。2001 年には両者はほぼ同量になり、最近では、CEM I が約 20%, CEM II が約 70% となっている。なお、ここ 10 数年間の総セメント消費量は、年間 350～430 万 t で推移している。

スイス国内において消費されるコンクリートの内訳は、生コン工場での製造が 77%, 現場プラントでの製造が 13%, プレキャスト工場での製造が 3%, 輸入が 7% となっている。生コン工場の製品の 75% が EN 206-1 に適合したコンクリートで、その 50% が XC 1 または XC 2, 10% が XC 3, 35% が XC 4, 5% が XD 1～3 および XF 2～4 の暴露環境区分である。数値はいずれも概数である。なおスイスでは、EN 206-1 の環境区分のうち、XS (海水の作用による腐食環境) および XA (化学的侵食環境) を除いた、X 0 (腐食や浸食の可能性のない環境), XC (中性化による腐食環境), XD (海水以外の作用による腐食環境), XF (凍害環境) の 4 区分について、環境条件に対応した最大 W/C, 最小強度、セメント規格が指定されている。

3. スイスにおける透気性検査指針案

2003 年に基準化されたコンクリートの施工に関するスイス規格 (SIA 262: 2003) では、耐久性の観点からは特にかぶりコンクリートの品質が重要であり、かぶりコンクリートの物質移動抵抗性を耐久性指標 (Durability indicator) としている。この耐久性指標は、実構造物 (あるいは実構造物から採取したコア) において、透気試験などの方法によって検査しなければならないことが盛り込まれている。あわせて実構造物における透気試験手法に関しての規格 (SIA 262/1) も整備された。しかしながら、これらの規格では、品質基準値の決定に関する詳細な指針や具体的な試験実施や適合性評価についての記述が十分ではなく、実構造物における耐久性能の検査の

*1 なからい・けんいちろう／群馬大学大学院 工学研究科 准教授 (正会員)

*2 くらしげ・いさお／財電力中央研究所 地球工学研究所 主任研究員 (正会員)

*3 きし・としはる／東京大学 生産技術研究所 教授 (正会員)

実質的な普及は進んでいなかった。

そこで、スイス連邦道路局（ASTRA）が設置した委員会（委員長：F. Jacobs 博士）において、透気試験によるコンクリートの品質管理に関する指針が作成されることとなり、準備が進められてきた¹⁾。委員会の活動目的は以下の3点である。

- a) コンクリートの透気性の現場測定手法に関する指針の提供
- b) スイスにおける典型的な環境区分に対する透気係数 kT の最大値の提示
- c) 透気係数 kT の適合性評価のための判定基準の作成

委員会で作成した指針は2009年12月にドイツ語で公開され、その後、R. Torrent 博士による主要部分（1章および2章）の英訳版²⁾が2010年9月に公開されている。また、作成中の指針案の概要については、RILEM の会議報告³⁾にも掲載された。

以下では、文献2)、3)に加え、指針作成を担当したF. Jacobs 博士およびR. Torrent 博士から2009年10月6日にスイスで得た情報、2010年4月7日に来日中のTorrent 博士から得た情報を追加して紹介する。

なお、本指針が具体的に想定している試験装置は特定の装置（トレント透気試験装置⁴⁾、図-1、写真-1）に留まっているが、SIA 262では実構造物のかぶりコンクリートの物質移動抵抗性の検査を求めているだけで、透気試験に限定したものでも、特定の試験装置に限定したものでもない。今後、指針の完成とともに検査が普及していけば、他の試験方法も開発され、試験自体の精度も向上していくことが期待される。

3.1 透気性検査の必要性

耐久性の指標としては、水セメント比が代表的であるが、現場における精度の高い検査手法は確立されていない。また、かぶりコンクリートの品質は、打込み、締固め、仕上げ、養生などの施工の要因によって大きく変動し、標準養生された供試体の性能とは一般には一致しない。構造物の寿命は、達成されたかぶりコンクリートの物質移動抵抗性とかぶり厚さに大きく依存することか

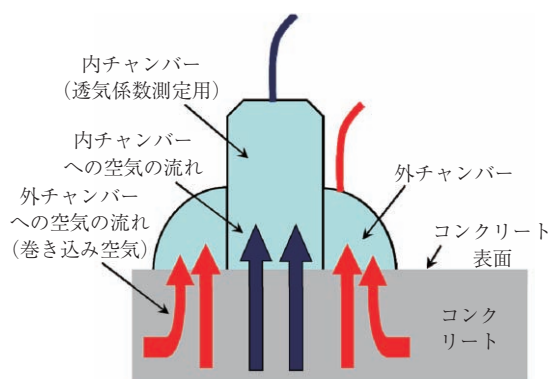


図-1 トレント透気試験装置の概要⁴⁾

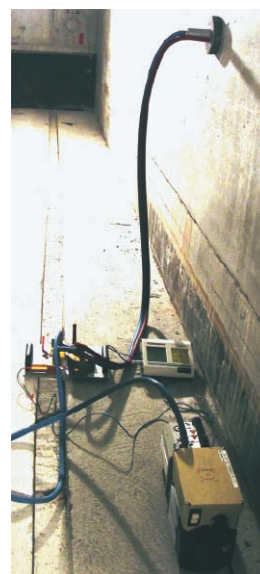


写真-1 トレント透気試験の実施状況

ら、これらを適切に検査することが必要であると考えられている。

本透気試験は、新設構造物における竣工検査を想定している。これは、実構造物のかぶりコンクリートは、締固めや養生などによって品質が大きく低下する可能性のあるため、施工が適切に行われたことを確認することで粗悪なコンクリート施工を排除するとともに、もしも品質に問題があった場合には、劣化の進行していない新設

Completion Inspection Method to Check Impermeability of Cover Concrete —Recommendations in Switzerland—

By K. Nakarai, I. Kurashige and T. Kishi

Concrete Journal, Vol.49, No.3, pp.3~6, Mar. 2011

Synopsis In Switzerland, the recommendations were published in order to check the impermeability of the cover concrete on the structure by means of permeability tests (e.g. air permeability measurements). Since this completion inspection can directly check the actual quality of the cover concrete, it is expected to contribute the certification and improvement of the durability of concrete structures and innovation in the concrete engineering. Here, the outline of the draft of guideline will be introduced.

Keywords : durability, durability indicators, completion inspection, air permeability, cover concrete

段階で適切な事前対策を実施するためである。

3.2 透気試験の測定箇所の選定

試験実施場所の区画および測定ロット数が定められている。

(1) 測定区画

同一の透気係数 kT が規定される範囲内を一区画として扱う。同一区画内では以下が前提となる。

- ・同じ区分（強度クラス，環境区分，粗骨材最大寸法など）のコンクリートが用いられていること。
- ・同様の施工方法（打込み，締固め，養生）が行われていること。

(2) 測定数

それぞれの測定区画に対して，暴露面の面積 500 m^2 あたり1つ以上，かつ，コンクリートの打込み3日間で1つ以上の測定ロット数が必要である。1つのロットでは，無作為に抽出した6点で測定を行う（図-2）。ただし，局所的な影響や試験への影響を避けるため，対象区域の上下端から各150 mm，左右端から50 mmは測定対象としない。また，それぞれの測定点の間隔は200 mmよりも大きくする。

測定数を増やすほど検査精度は向上するがコストが増加するため，これまでの経験から合理的と考えられる必要十分な測定数が設定されている。

(3) 測定箇所

測定箇所の選定および測定においては，以下を考慮する。

- ・表面保護処理の有無を確認し，保護処理がされている場合には，可能な範囲で除去して，コンクリートその

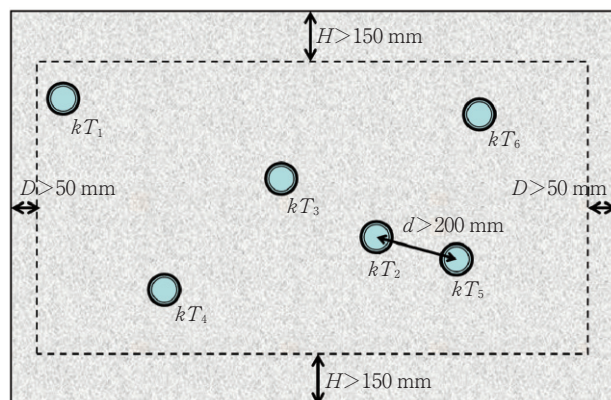


図-2 透気試験の測定位置

ものの品質と保護処理の効果を測定する。

- ・表面から20 mm以内には鉄筋などの埋設物がない箇所を選定する。
- ・コンクリート表面が粗すぎる場合には，平滑にしてから測定する。
- ・測定前には，硬いブラシか硬く乾いたスポンジでホコリを除去する。
- ・事前にアルコールの噴霧などでひび割れ調査を行い，ひび割れが確認された場合には測定箇所をずらす。すなわち，測定対象はコンクリートそのものの品質とし，ひび割れ自体の影響は必要に応じて別に検討する。
- ・測定箇所にはマーキングをし，同一箇所での二重測定を避けるとともに，異常値が出た場合の分析に使用する。

3.3 透気係数の基準値

透気係数の基準値 kT_s は，表-1に示すように，コンクリートの強度クラスや環境区分とともに規定されている。この基準値は推奨値であり，技術者の判断によって変更ができるとされている。

なお，この推奨基準値は，これまでの実構造物の検査実績からはほとんどの構造物が満たしていた，比較的緩い数値である。2006年のJacobsの提案値⁵⁾からもおおむね緩和されている。これは，まずは実務への普及を第一に考え，著しく品質の劣るコンクリートの排除を当面の目標として設定されたものである。今後，試験の実施が一般化し，データの蓄積が進んでいけば，基準値などの見直しも進められる。

3.4 透気係数の適合性評価

適合性評価のための判定基準は，2段階で与えられている。まず，1ロット6測定点のうち5測定点以上の透気係数 kT が基準の透気係数 kT_s 以下であれば合格となる。もしも2点以上が kT_s を上回った場合には，同一ロット内において，新たに6点の追加測定を無作為に行うこととなる。そして，追加測定した6点のうち5点以上の kT が kT_s 以下であれば合格となる。追加測定でも基準を満たさなかった場合には，不合格となる。

適合性評価において不合格と判定された場合には，対象のコンクリートの品質に関する情報を収集して分析するとともに，かぶり厚さの非破壊計測やコアの採取などの追加の調査を実施し，必要な対策を検討することとなる。

表-1 透気係数の基準値

コンクリート種類	A	B	C	D	E	F	G
強度クラス	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37
環境区分	XC 1, XC 2	XC 3	XC 4, XF 1	XC 4, XD 1, XF 2	XC 4, XD 1, XF 4	XC 4, XD 3, XF 2	XC 4, XD 3, XF 4
最小セメント量 (kg/m ³)	280	280	300	300	300	320	320
最大水セメント比 W/C (%)	65	60	50	50	50	45	45
推奨現場透気係数 kT_s (10^{-16} m^2)	—	—	2.0	2.0	2.0	0.50	0.50

3.5 コンクリートの状態

透気試験は、温度や含水状態の影響を受けて結果が大きく左右されることがある。透気試験にあわせて測定した電気抵抗値による補正の提案⁶⁾もあるが、本指針では、実務への簡便な適用を第一とし、温度や含水率が結果に与える影響が小さい範囲内での測定を規定している。

(1) 試験材齢

材齢 28 日（反応の遅い粉体では 60 日）～90 日

(2) 温 度

コンクリートの表面温度が 10℃ 以上であること。ただし、熟練者は、必要であれば 5～10℃ の範囲でも測定できる。また、試験装置に直射日光が当たらないようにすること。

(3) 水 分

以下のいずれかを満足すること。

- ・表面接触電気抵抗試験によって計測したコンクリートの絶対含水率が 5.5% 以下
- ・ Wenner 法で計測した 20℃ における電気抵抗が 10～20 kΩ・cm 以上（15℃ 以下または 25℃ 以上の場合には補正）

これらは、養生の終了から 3～4 週間が経過し、雨や霜などによる水の接触から 2～5 日以上経過したときにおおよそ満たされるのが標準である。

3.6 そ の 他

以上に加え、試験機の調整方法、試験の実施手順、測定費用見積りなどのポイントなどが示されている。

3.7 検査導入の狙い

スイスにおける実構造物のかぶりコンクリートの透気性検査は、プロセス検査ではなく、最終的な製品の耐久性能を直接的に検査することを目指したものである。実構造物の完成までには、設計者、材料供給者、生コンクリート製造者、施工者、検査者などが順次関与している。性能重視の評価は、それぞれの公平な競争環境を保証するものと考えられている。たとえば、材料供給者はコンクリートとして最大限の性能を達成するための材料開発をすることになり、生コン製造者は要求された性能を達成できるようなコンクリートを設計し、製造し、運搬することになり、施工者は作業効率だけではなく品質の確認されたコンクリートを必要とするようになる。そして、不法な加水、不適当な打込みや締固め、粗悪な仕上げ、不十分な湿潤養生のような問題のある建設作業行為を排除できるようになると考えられている。

同時に、新しい技術の開発や普及にも貢献することが期待されている。たとえば、自己充填コンクリート、透水性型枠、内部養生、低／無収縮コンクリートなどであ

る。スイスにおける取組みは、耐久性に関わるコンクリート構造物の性能照査型設計の具体的な実現を目指すものといえる。

4. 結 び

ここでは、最終的な製品の耐久性能を直接的に検査することで、コンクリート構造物の耐久性確保を目指すスイスの取組みを紹介した。これと関連する活動が、本稿の筆者である岸を委員長とした土木学会コンクリート委員会「構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会（335 小委員会）」においても行われている。2005 年 9 月からの第一期および 2008 年度の「歴代構造物品質評価／品質検査制度研究小委員会（216 委員会）」の活動をもとに、2009 年 9 月から開始した第二期の活動では、かぶりコンクリートの品質情報に関する非破壊試験を核とした竣工時の耐久性検査制度の具体的な提案および関連する技術情報のとりまとめを行っている。本稿執筆のもととなった情報も、日本における 335 委員会の活動に興味を示した F. Jacobs 博士および R. Torrent 博士と 335 委員会との情報交換によって得られたものである。スイスの先駆的取組みも参考としつつ、世界に先駆けて性能照査型設計を示方書に取り入れた日本の独自色が発揮されるようなものを目指し、活動を行っている。

最後に、貴重な情報のご提供をいただいた F. Jacobs 博士および R. Torrent 博士に感謝します。

参 考 文 献

- 1) AGB2007/007: ASTRA Research Project "Recommendations for the quality control of concrete with air permeability measurements". (<http://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?page=Texte&projectid=24243>.)
- 2) Torrent, R.: English Translation of "Recommendations for Quality Control of Concrete with Air-Permeability Measurements" (Swiss Federal Department of Transportation, December 2009), 2010. 9
- 3) Jacobs, F. & Torrent, R.: Swiss Standard SIA 262:2003, a step towards performance-based specifications for durability, RILEM Conference Concrete in aggressive aqueous environments - Performance, Testing, and Modeling, Toulouse, France, 3-5 June 2009
- 4) Torrent, R.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of the permeability to air of the concrete cover on site, Material & Structure., v.25, n.150, pp. 358-365, July 1992
- 5) Jacobs, F.: Luftpermeabilität als Kenngrösse für die Qualität des Überdeckungsbetons von Betonbauwerken (in German), VSS-Bericht, No. 604, 85, Zurich, 2006
- 6) Torrent, R.: Performance-based specification and conformity control of durability, International RILEM Workshop on Performance Based Evaluation and Indicators for Concrete Durability, Madrid, Spain, 19-21 March 2006