「材料」(Journal of the Society of Materials Science, Japan), Vol. 58, No. 8, pp. 678-683, Aug. 2009
論　　文

コンクリート構造物に対する目視試験の信頼性向上に対する実験的検討†

三　田　勝　也*　辻　　正　哲**

Study on Advancement in Reliability of Visual Test Based on Photographic Questionnaire for Concrete Structures

by

Katsuya MITA* and Masanori TSUJI**

Inspection of reinforced concrete is important to ensure durability, and visual test is widely applied to the inspection. In this study, reliability on the result of the visual test for cold joint and sand streak was investigated, and it was clarified that error among the results of visual test comparing with photographs on questionnaires obtained by more than 100 students is fairly small. Then method to predict durability of reinforced concrete based on visual test results is proposed. The following (1), (2) and (3) are main conclusions.

(1) The error in visual test by the proposed method among inspectors is significantly small enough to inspect cold joint and sand streak, even when the inspectors are students who have no experiences.

(2) Relation between the visual test result for cold joint and the diffusion coefficient of chloride ion in hardened concrete is very close, so that the durability of reinforced concrete structure against chloride attack can be predicted based on visual test results. For a example, the method specified in Japan Society of Civil Engineers standard specification can be applied to the prediction.

(3) Relation between the loss of mass under freezing and thawing test and the result of visual test for cold joint and sand streak is close, so that the visual test can be an effective method to predict durability against freezing and thawing and also to judge the requirement for repair.

Key words : Concrete, Visual test, Cold joint , Sand streak, Chloride diffusion, Freezing and thawing

1　緒　　言

現在，成熟期を迎えた我国において社会資本であるコンクリート構造物に対する診断の重要性は，日々増してきている．診断方法の中でも，テストハンマーによる打音および目視による検査方法は，点検の基本的な方法となっており，特に目視は点検の際に常に行うことが定められており，[1]必要性は高い．コンクリート構造物の劣化の進行状況は，構造物自体の性能だけでなく，それが置かれている環境条件によっても大きく変化する．そのため，目視による判断の基準は，パターン分けされている場合が多く，未だ技術者の判断に頼っているところが大きい．例えば，㈳日本コンクリート工学協会のコンクリート診断士試験においても，環境条件や分析結果をもとに，写真を多用して判断を求める問題が数多く採用されている．言い換えれば，多くの場合目視試験の結果が診断には不可欠となっている．しかし，目視試験は技術者の感覚によるところも大きいにもかかわらず，目視試験結果やその再現性に及ぼす技術者の技量の影響については未だ不明な点が多い．さらに，目視試験結果を用いた診断の判断基準も，定性的なものが多く，数値的手法については未だ研究段階にあるに過ぎない．

一方，目視試験については，『コンクリート構造物の目視試験方法 (NDIS 3418 : 2005)』[2]でその試験方法が規定されている．そして，適切に行えば，目視試験結果に対する測定者間のばらつきは比較的小さく，診断に当たっての重要な試験方法であることは，技術者の間では感覚的に理解されているようである．

本研究では，初期段階で発見される表面欠陥としてコールドジョイントおよび砂すじを取上げ，本学土木工学科2年生116人による目視試験を行い，目視試験の信頼性を調査した．そして，塩水浸漬試験および凍結融解試験を行い，目視試験結果と塩分浸透性および耐凍結融解性の関係について実験的に検討した．

2　実　験　概　要

2・1　使用材料および配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメント（密度3.16g/cm^3）であり，骨材には鬼怒川産川砂（表乾密度2.58g/cm^3）および山梨産砕石（最大寸法20mm，表乾密度2.72g/cm^3）を用いた．また，混和剤にはAE減水剤およびAE助剤を用いた．コンクリートの配合は，水セメント比55%とし，目標スランプを12.0cm，目標空気量を4.5%とし求めた.[3]

†　原稿受理　平成20年12月8日　Received Dec. 8, 2008 ©2009 The Society of Materials Science, Japan
*　学生会員　東京理科大学大学院　〒278-8510　野田市山崎，Grad. School of Sci. and Eng., Tokyo Univ. of Sci., Yamazaki, Noda, 278-8510
**　正 会 員　東京理科大学理工学部土木工学科　〒278-8510　野田市山崎，Dept. of Civil. Eng., Tokyo Univ. of Sci., Yamazaki, Noda, 278-8510

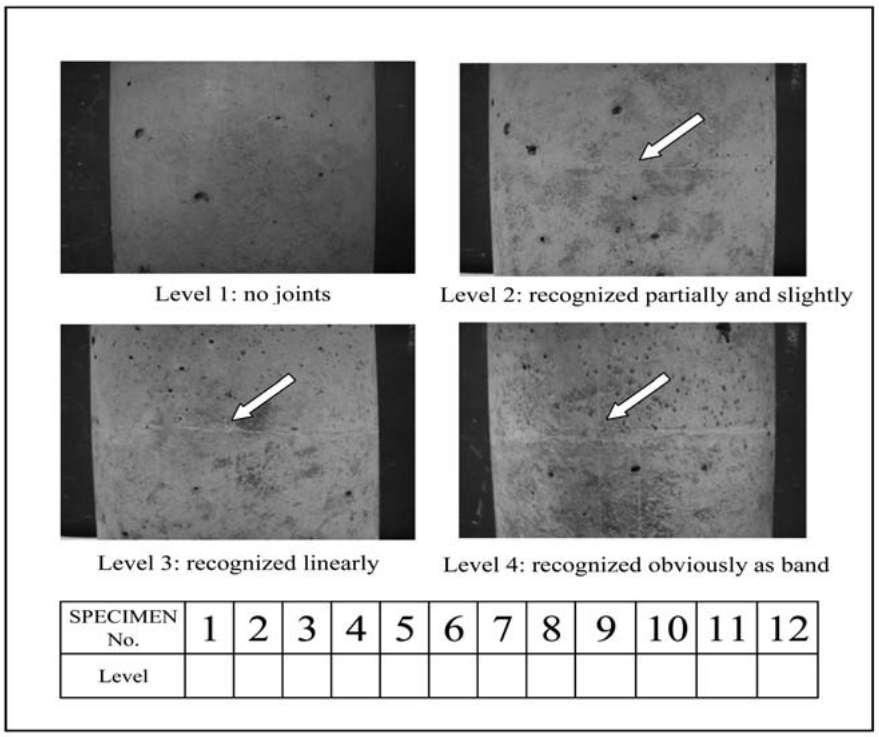


Fig. 1 Questionnaire for Cold joint.

2・2 供試体形状および打込み方法

コールドジョイントの目視試験に使用した供試体は，150 × 300 × 400mm の角柱供試体である．コンクリートは型枠に 2 層に分けて打ち込み，供試体の高さの半分 (200mm) の位置に打重ね継目を設けた．打込みは，下層コンクリートの打込み後所定の打重ね時間間隔を設けた上で，上層コンクリートを打ち込んだ．下層コンクリートは，角柱供試体の中央部（高さ 200mm）までコンクリートを打込み，内部振動機を用いて締固めた．また，上層コンクリートは，下層コンクリート上面に溜まっているブリーディング水を除去しないで打ち込み，内部振動機を上層コンクリートにのみ挿入し締め固める方法とした．なお，打重ね時間間隔は 10 分，30 分，90 分および 180 分の 4 通りとした．

砂すじの目視試験に用いた供試体は，ϕ88 × 200mm のほぼ円筒形の供試体である．型枠には，市販の清涼飲料水用のペットボトル（1.5 リットル）を高さが 200mm になるように加工したものを用いた．また，コンクリートは高さ 100mm の位置で 2 層に分けて打ち込んだ．締固めは，直径 6mm の突き棒を用いて，各層とも通常 JIS で既定されている回数の 10 倍である 60 回突き固める方法とした．また，上層コンクリートを締め固める際は下層を突かないように上層のみ締め固めた．これは，『コンクリート構造物の目視試験方法 (NDIS 3418 : 2005)』の中で砂すじ発生の定義，「ブリーディングの多いコンクリートの浮き水を取り除かないで打ち重ねた場合や軟練りコンクリートを過度に締め固めた場合に発生する.」を参考にしたことによる．上層コンクリートは，下層コンクリートを打ち込み，打重ね時間間隔が 60 分，90 分，120 分，150 分および 180 分となった時点で打ち込んだ．また，上層コンクリートを打ち込む際には，下層コンクリート上面に溜まったブリーディング水を取り除かずに打ち込む方法と，打ち込み直前に下層コンクリートのこわばりを除去するために突き棒で下層コンクリート上面を再び突いて軟らかくした後にブリーディング水を散布して打込む方法の 2 通りの方法について検討を行った．後者の方法で散布するブリーディング水量は，あらかじめ各打重ね時間間隔で発生するブリーディング量を測定しておき，これと上層コンクリート打込み直前の下層コンクリート上面のブリーディング水量が一致する量とした．これは，打重ね時間間隔が長くなった場合，ブリーディング水がないと極端に付着状況が悪くなるためである.[3]また，すべての打重ね時間間隔において上層コンクリートを打込む直前に下層上面に溜まったブリーディング水を墨汁で着色した．これは，砂すじが形成される際の水の挙動の様子を調べやすくするためである．供試体は，打込み後 24 時間で脱型した後，目視試験開始まで気中養生を行った．

2・3 目視試験方法

目視試験は，東京理科大学理工学部土木工学科 2 年生 116 人を対象に行った．試験を行った 116 人の学生は，実験科目でコンクリート供試体を作製した経験はあるものの点検や診断についての知識を有していない．なお，目視試験には気乾状態の供試体を用い，学生はおよそ 1m 離れた場所からアンケート用紙と目視により比較し回答してもらった．

コールドジョイントの目視試験は，塩水浸漬試験の前後において，配布したアンケート用紙の写真を参考に評価する方法とした．試験に用いたアンケート用紙は Fig. 1 に示す通りである．写真は ϕ150 × 300mm の供試体に打

重ね継目を設けて撮影したもので，コールドジョイントの発生状態に応じて，4 段階に分けて評価する方法とした．評価 1 は継目が確認できないもの，評価 2 は継目が全体的に薄く部分的にしか確認できないもの，評価 3 は継目が直線的に確認できるもの，そして評価 4 は継目が直線的かつ帯状になっていてはっきりと確認できるものとした．学生は，アンケート用紙の写真と無作為に並べられた 12 体の目視試験用の供試体を見比べながら，どの段階のコールドジョイントに近いかを選択した．但し，同一条件下で作製した供試体であっても，コールドジョイントの状態には若干の差が生じたが，著者らによる評価結果に差は出ない程度の差であった．また，4 段階評価としたのは，今回の試験に先だち前年度の同学年の学生に対し 5 段階評価で実施した目視試験時に，評価判別に手間取る学生が多かったことによる．特に，評価段階の境目付近での微妙な判断に戸惑うようであった．

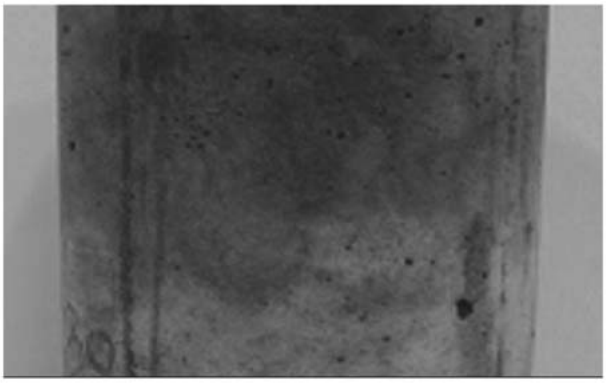
砂すじの目視試験も，アンケート用紙を用いた方法で行った．ただし，砂すじのアンケートは，供試体 10 体を無作為に並べて供試体表面に欠陥が存在するか否かの 2 択で行った．また，目視試験で砂すじが確認されたときには，スケールを用いて砂すじ中の空隙部の幅を測定した．その幅によって，Fig. 2 に示すように砂すじの評価を 2 段階に区別し，合計 3 段階に区分した．評価 1 は欠陥が認められないもの，評価 2 は幅が 10mm 未満の欠損部が認められるもの，評価 3 は幅が 10mm 以上の欠損部が認められるものとした．

2・4 塩水浸漬試験

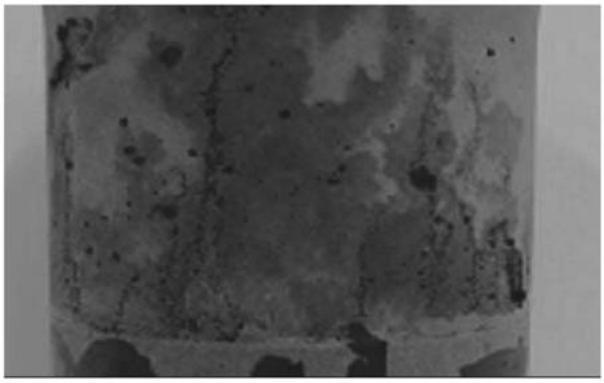
コールドジョイントの 1 回目の目視試験の後，供試体を 10% の塩化ナトリウム水溶液に 1 ヶ月浸漬させた．浸漬後，2 回目の目視試験を行った後に供試体を高さ方向に割裂した．その後直ちに 0.1mol/l の硝酸銀水溶液を噴霧することにより，白く呈色した部分のコンクリート表面からの距離を測定し，塩分浸透深さとした．なお，測定は 10mm 間隔で行い，中央部から上下それぞれ 20mm の間で塩分浸透深さが最も大きい箇所を継目部の塩分浸透深さとし，それ以外の箇所の平均を健全部の塩分浸透深さとした．

2・5 凍結融解試験

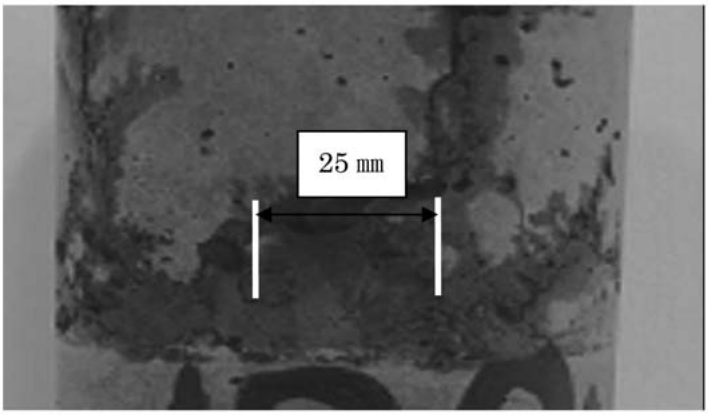
砂すじの供試体は，目視試験が終わった後に，家庭用冷蔵庫を用いて，10 サイクルの凍結融解試験を行った．なお，この際は，水中浸漬 12 時間と零下 20℃での凍結 12 時間を 1 サイクルとした．しかし，この程度の凍結融解作用ではほとんど劣化しなかったため，その後 JISA1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の A 法に従い，1 サイクル 3 時間とした凍結融解試験を行った．型枠にペットボトルを用いたため，供試体下部の特徴的な部分を切断し，円柱 (ϕ88 × 100mm) に成形した後凍結融解に用いた．JIS に従った凍結融解試験 36 および 72 サイクル時点で供試体表面の状態の写真および質量減少量の測定を行った．



Level 1: Defects can not be recognized



Level 2: Width of defect is under 10mm



Level 3: Width of defect is over 10mm

Fig. 2 Condition of sand streaks on each level.

3　実験結果および考察

3・1　コールドジョイントの目視試験結果

Table 1 は，それぞれ塩水浸漬前および塩水浸漬後の学生による目視試験の結果を整理したものである．著者らの想定した評価結果と学生の評価の一致した場合を正答，評価結果に 1 および 2 ランクの差があった場合をそれぞれ 1 ランク差および 2 ランク差とした．なお，表は，著者らの目視試験の結果より，下に向かうほどより継目が認識できるものとして表示した．そのため同じ評価結果であっても，下側の方が継目がより明確に発生している．また，著者らが目視試験を行った結果，アンケート用紙に載せた写真の例とほぼ一致すると評価したものに○をつけた．参考写真を円柱供試体の曲面で示し，試験対象を角柱供試体の平面としたにもかかわらず，塩水浸漬の前後いずれにおいても，評価 1 の正答率はほぼ 100% で，評価 2 ～ 4 では評価の境目で若干正答率が下がるものの，ほぼ 1 ランク差以内に収まっていた．特に，塩水浸漬後の供試体は，目視試験対象面に塩水浸漬による汚れが付着していたにもかかわらず，全体的に正答率が上がっており，2 ランク差が減少する傾向となった．これは塩水浸漬後の目視試験が学生にとって 2 回目の目視試験であり，その時点で全ての学生は目視試験を 1 度経験していたためであると考えられる．また，表中の括弧内は塩水浸漬後の目視試験結果について，実験の授業でアンケート時に出席数が 25 回中 20 回以下の学生の結果を省いて，再集計した結果である．その結果，全体的な正答率は上昇し 2 ランク差の場合がなくなった．

3・2　砂すじの目視試験結果

Table 2 は，砂すじについての目視試験の結果である．欠陥が存在している場合および欠陥が存在していない場合の両方でほとんどの学生が砂すじの発生の有無を区別できていた．しかし，打重ね時間間隔が 60 分および 90 分と短く砂すじが軽微な場合には，若干の学生は砂すじを見逃していた．再振動までの時間が 150 分および 180 分と長い場合にはひどいコールドジョイントを砂すじと誤判定した学生も若干いた．なお，砂すじが発生している場合には，必ずコールドジョイントも発生していた．

Table 1　Result of visual test for Cold joint by 116 students.

	Expected level by authors	Percent of answer of students(%)									
		Before soaking NaCl solution					After soaking NaCl solution				
		Corresponding answer with expected level by author	Evaluated to be slighter by 1level	Evaluated to be heavier by 1level	Evaluated to be slighter by 2level	Evaluated to be heavier by 2level	Corresponding answer with expected level by author	Evaluated to be slighter by 1level	Evaluated to be heavier by 1level	Evaluated to be slighter by 2level	Evaluated to be heavier by 2level
Slight	(1)	100	0	0	0	0	100 (100)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	1	100	0	0	0	0	99 (100)*	1 (0)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	1	97	3	0	0	0	98 (100)*	2 (0)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	1	96	4	0	0	0	72 (72)*	28 (28)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	2	84	3	11	1	0	50 (54)*	2 (46)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	(2)	91	7	1	0	0	84 (92)*	5 (8)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	2	56	39	0	1	0	59 (69)*	36 (31)*	0 (0)*	2 (0)*	0 (0)*
	3	78	8	15	0	0	60 (62)*	5 (36)*	2 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	(3)	77	19	3	0	0	84 (86)*	13 (14)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	3	47	45	8	0	0	55 (55)*	42 (43)*	2 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
Heavy	4	58	0	33	0	9	78 (79)*	0 (21)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*
	(4)	74	0	25	0	1	89 (90)*	0 (10)*	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)*

( )*: percentage based on the answers of 97 students except 19 students who gave up taking course unit of concrete experiment.

Table 2　Result of visual test for Sand Streak by 116 students.

	Percentage of each answer(%)									
	Lower concrete was not recompacted					Lower concrete was recompacted just before upper concrete placement				
	Defect observed					No defect observed				
Corresponding answer with expected answer by authors	93	95	100	100	100	100	100	100	98	98
Different answer from expected answer	7	5	0	0	0	0	0	0	2	2
Time interval from lower layer compaction to upper layer placement (min)	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180

3・3 塩水浸漬試験結果

Fig. 3 は，コールドジョイントの目視試験に用いた供試体について，継目部と健全部の塩分浸透深さの比を学生 116 人の目視評価結果の平均との関係で示したものであり，強い相関性を示していた．また，継目部での塩分浸透深さは，目視でやっと確認できるような部分的な継目であっても，継目以外の部分に比べ 1.5 ～ 2.5 倍程度となり，継目が容易に確認できる段階となると 3 倍以上にまで増大していた．これは，設計段階で用いた拡散係数を，Fig. 3 の結果を用いて割増すことにより，コールドジョイント部の塩分浸透深さを推定できることを表している．そして，その結果から，補修の必要性の有無を判定できると考えられる．

3・4 凍結融解試験結果

Fig. 4 は，凍結融解試験 36 サイクル時点での質量減少率を示したものである．横軸には，コールドジョイントのみが発生している場合と砂すじを伴って発生している場合とに分けて，目視試験による評価結果を示した．なお，砂すじが発生している場合は，全てコールドジョイントも発生していた．いずれの場合も，目視評価結果が大きくなるに従い，凍結融解による質量減少率も大きくなる傾向にあった．また，砂すじが確認されない場合は Fig. 1 に示す 4 段階の評価を行なっている．[4] コールドジョイントのみ確認された場合では評価が 4 となると質量減少率は欠陥が認められない場合のおよそ 2 倍となっていた．さらに，砂すじが確認された場合では，評価が

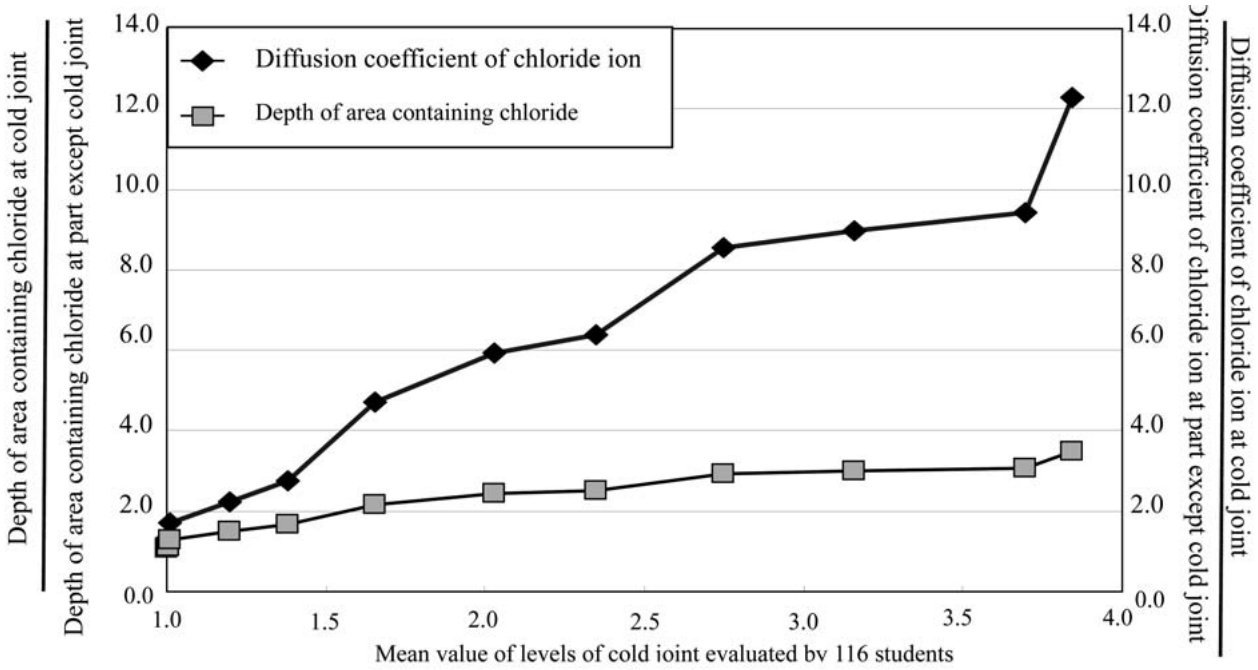


Fig. 3 Relation between result of visual test for Cold joint and Soaking test into NaCl solution.

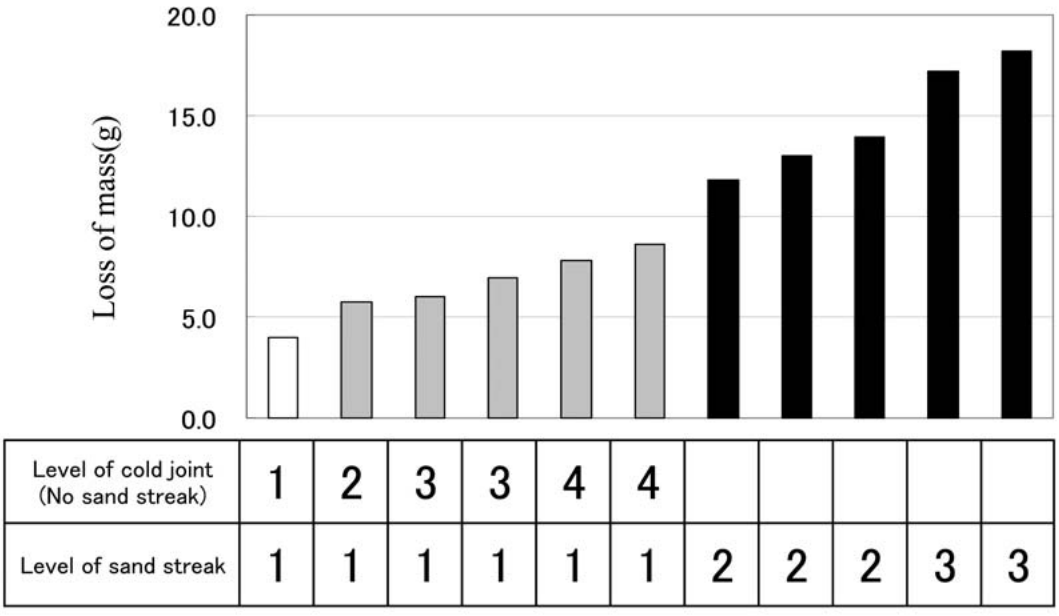
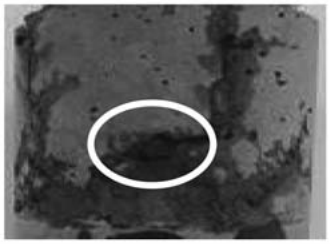
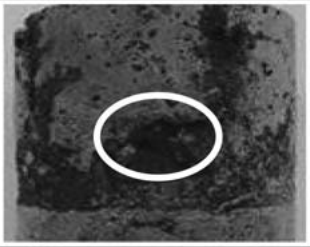
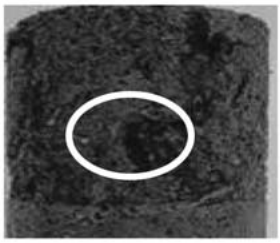
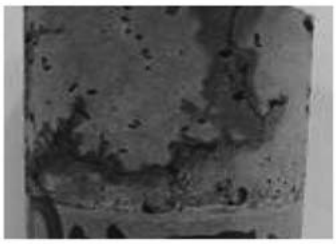
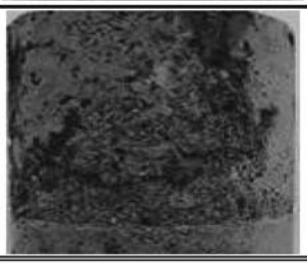


Fig. 4 Relation between visual test result and loss of mass at the freezing and thawing of 36 cycle.

Table 3 Concrete surface after Freezing and thawing test.

Result of visual test for Sand Streak	Photograph of concrete surface		
Level 3			
Level 2			
Cycle of freezing and thawing	0	35	72

2 でも欠陥が確認されない場合のおよそ 3 倍の質量減少率となり，評価 3 となると，4.5 倍の質量減少率となっている．このことから，砂すじが発見された場合には，そこに空隙が存在するかどうかで耐凍害性が大きく異なると考えられる．

Table 3 は，凍結融解試験前，凍結融解 36 サイクルおよび 72 サイクル後の供試体表面の劣化状況の写真である．小さな空隙を伴う評価 2 程度の砂すじは，凍結融解が進むにつれて，周りのコンクリートとあまり変わらなくなるが，大きな空隙を伴う評価 3 の砂すじでは，空隙が拡大するように劣化が進行している．これは，大きな空隙を伴わない砂すじは，表層部のみが欠陥となり，凍結融解が進むに従って，他の部分との差が小さくなるが，大きな空隙を伴う砂すじは比較的深くまで品質低下を引き起こしていることによると考えられる．

4 結　　言

写真に示された評価と比較するという方法によると，目視試験経験の全くない学生であっても真面目に試験にあたれば，コールドジョイントおよび砂すじに対する目視試験結果に及ぼす個人差の影響は小さく，信頼性の高い試験方法であるという結果が示された．しかし，熱心に目視試験を行わない，あるいは手を抜くと，信頼性が低くなる．そのため，目視試験の信頼性を高めるには，技量もともかく，技術者が時間をかけて一生懸命に試験にあたることが肝要と考えられる．

一方，コールドジョイント部の目視試験結果と塩分浸透深さには強い相関性が見られた．このことから，計画設計段階での塩害に対する照査結果を，目視試験結果を用いて補正することで，補修の必要性の有無を判定できると考えられる．また，砂すじが発生している場合には，目視試験とスケールを用いた簡易的な測定方法の併用で，凍結融解作用に対する抵抗性を推定できることが明らかとなった．なお，砂すじの発生はコールドジョイントの発生を伴うのが一般的であるが，コールドジョイントの目視試験結果と凍結融解試験による質量減少量の間にも強い相関性が見られ，コールドジョイントから砂すじに到るまで連続的に凍結融解作用に対する抵抗性を目視試験と簡易な試験である程度予測できると考えられる．

参　考　文　献

1） Japan Society of Civil Engineers, “Standard Specification for Concrete Structures – 2007, Maintenance” (2008).

2） Japanese Society for Non-Destructive inspection, “Method of visual test for concrete structures” (2005).

3） K. Mita, M. Tsuji, M. Akatu, A. Sasaki, Y. Hirose and K. Shibashi, “Study on effect of condition of sand streak on durability against freezing and thawing”, Proceedings of the 57th JSMS Annual Meetings, pp.189-190 (2008) The Society of Material Science, Japan.

4） K. Mita, M. Tsuji, N. Sasaki, M. Akatu, A. Sasaki and Y. Hirose, “Experimental study on durability check by visual test for cold joint”, JSNDI Spring Conference 2008, pp.209-212 (2008) Japanese Society for Non-Destructive inspection.