

竣工後65年を経過したコンクリート床版の コア圧縮強度試験から劣化診断を考える

山形県コンクリート診断士会、診断部会・施工部会

概要 近年、コンクリート構造物の劣化に伴う補修工事が行われるようになったが、主に補修対象のコンクリート構造物の材令は50年を超えるものが多い。50年以上のコンクリート構造物の施工を考えると生コンクリートの使用が始まる以前のものがほとんどで、現場練りのコンクリートを使用して施工されたものが対象となっていると考えられる。現場練りコンクリートの品質はバラつきが大きいため、より正確に把握することで劣化状態の捉え方がより正確になるものとする。既設の現場練り施工のコンクリート構造物より多数のコアを採取し、圧縮強度試験等を実施した。それらの結果を重視した補修方法の選択がより有効な補修となることで補修後の早期再劣化を防止でき、構造物の長寿命化が期待でき、ライフサイクルコストの抑制につながるものとする。

1. はじめに

2019年に『山形県コンクリート診断士会』が発足し活動開始する。本格稼働した翌年、旧荒砥橋の解体撤去工事が始まるタイミングで山形県県土整備部より床版の一部とコア供試体の提供を受けることができた。

既設コンクリート構造物の診断を行う場合、コンクリートの品質管理の歴史を考え判断することが必要と捉えられるが、固定観念として昭和54年版生コンJIS改定版以降の捉え方に偏っているように思える。昭和32年竣工の旧荒砥橋のコンクリートにおいては、生コンが普及する以前のことであり現場練り施工の時代と考えられる。施工方法も管理方法も昭和54年以降のものとは違っていることを考え診断することが重要と捉える。

旧荒砥橋床版の塩分量測定、圧縮強度試験等を実施し、結果を基に経年劣化という課題について検討を行うこととした。



旧荒砥橋撤去前全景



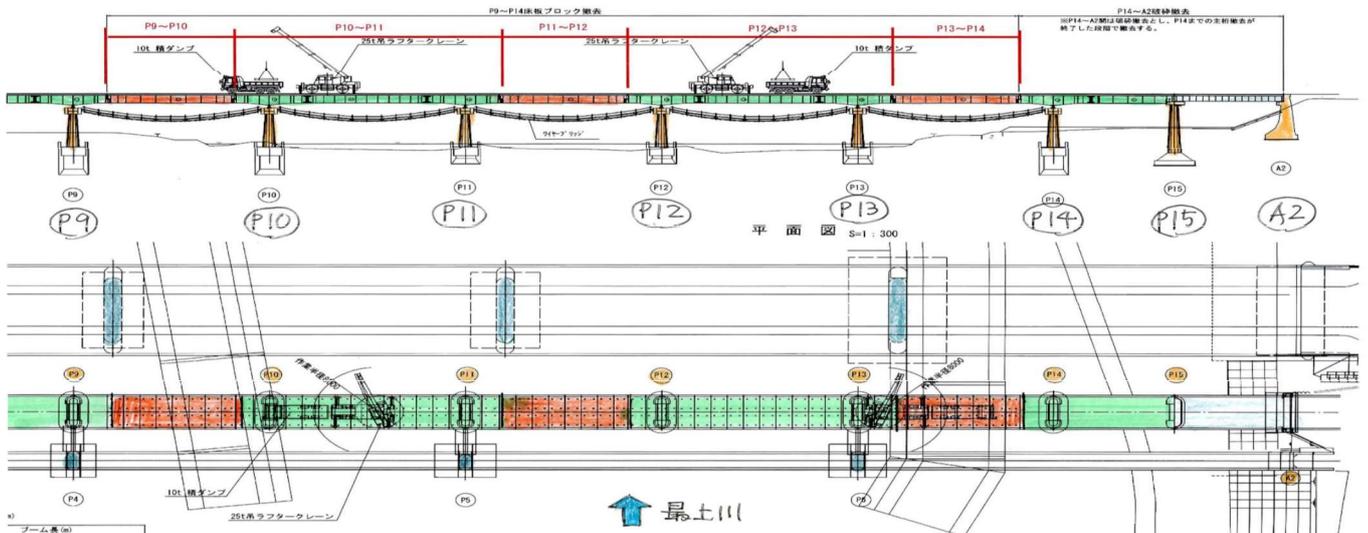
舗装版撤去後

旧荒砥橋について

橋 梁 諸 元

橋梁コード	401120310		公 所	置賜総合支庁建設部西置賜
カナ名称	あらとばし		路線名称	主要地方道 長井白鷹線
橋梁名称	荒砥橋		所在地	白鷹町荒砥甲
GPS 緯度	38.18669000	GPS 経度	140.09074700	
橋長/支間割	322.90	6@18.71+18.70+6@24.0 0+14.50+13.45	幅 員	5.7
橋 種	鋳 桁 (鋼)		鋼材の種類	普通鋼材
竣 工 年	昭和 32		径 間 数	16
適用示方書	昭和 1 4 年 2 月		設計荷重	9 t
橋梁種別	河 川 橋			

(表-1)



解体現場においてワイヤーソーによる切断を行った後、クレーンにて台車に積込み40Kmほど運搬を行った後、床版下面の診断を可能にするため鉄骨にて組み立てた受台に設置を行った。

コア供試体保管

ワイヤーソーの施工、クレーンつり上げ用のため削孔したコアの提供を受ける。削孔位置の記録も保存する。



据え付け状況

箇所別に袋詰めされた削孔コア

床版、コア供試体の山形県コンクリート診断士会による診断実施

床版受け入れ後、床版、削孔コアの診断を行うとともに1年間に渡り供試体に適した実施試験の検討を行う。



床版、コアの調査診断及び記録状況

コアの分別、記録

試験方法及び実施

実施できる試験の選定を行い、決定（今後、再検討）

1. 塩分量測定
2. 超音波測定
3. 圧縮強度試験

1. 塩分量測定

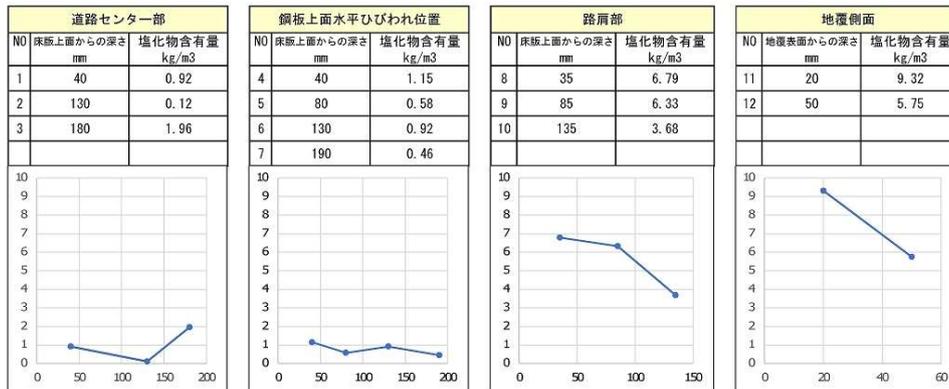
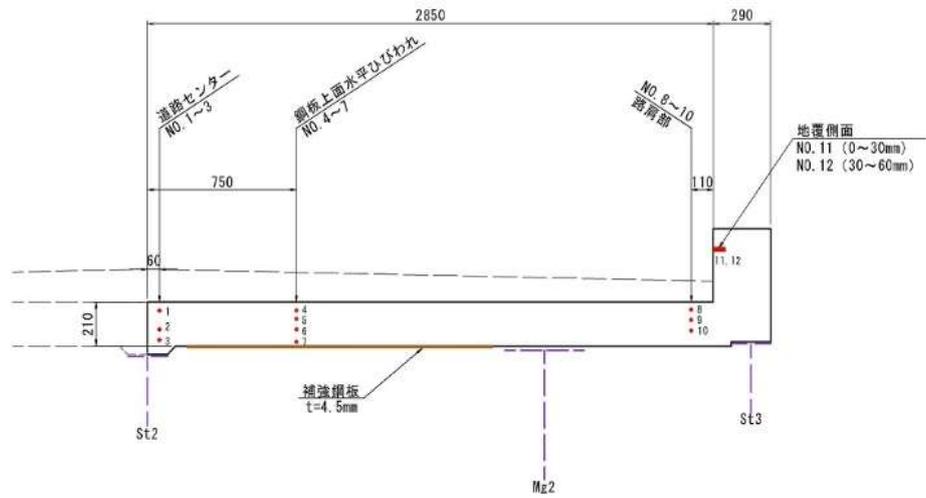
融雪剤の使用が確認されていることから、ドリル法にて実施する。
(NO. 3の所箇所がコンクリート欠落につき破碎粉測定を行う。)



ドリル法によるコンクリート粉の採取

電量滴定方式塩分量測定

測定結果



2. 超音波測定

コアの位置別の超音波測定を行う。現地において確認程度の調査にて終了とする。



超音波測定状況

3. 圧縮強度試験

採取コア供試体（径 100 mm 程度、径 94 mm 程度の 2 種類）

34 本の採取されたコアの両面を切断する。（図—3）

切断されたコアを研磨機により研磨する。（図—4）



(図—1)



(図—2)



(図—3)



(図—4)

研磨を行った際に浮石の剥離やコンクリートの欠損部をモルタルで補修する。

モルタル補修されたコアの表面を平滑にケレンする。

コア断面の径をノギスにより2か所計測後、平均値とする。(図一6)

コア長さを4面計測し、平均値とする。

コア重量を測定。(図一7)



(図一5) 補修後状況



(図一6)



(図一7)

試験前のコアの現状撮影を記録する。

下記画像は、最小数値のコアでありひび割れが多くみられる。ほかにみられないことから、この部分は施工時からの締め固め不足の可能性が高い。(図一8)



(図一8)

圧縮強度試験実施 (図一9)

(全自動ハイアクティスを使用することで、個人技能力差による試験値のバラつきが無いように計測する。)



(図一9)

計測した破壊強度値をコア面積で除し圧縮強度値を算定する。

コア長さから強度補正を行う。(表-2)

表1 補正係数

高さ直径との比 h/d	補正係数	備考
2.00	1.00	h/d がこの表に表す値の間にある場合、補正係数は、※は補間して求める、
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.87	

備考 表中に示す補正係数は、補正後の値が 40N/mm^2 以下のコンクリートに適用する、

※11 $1.90 \leq h/d \leq 2.10 \rightarrow$ 強度補正を行わない、

$1.00 \leq h/d < 1.90 \rightarrow$ 強度補正を行う。(補正後の圧縮強度が 40N/mm^2 以下の場合に強度補正を行うが、 40N/mm^2 を上回る場合には、実験データが少ないため、供試体の高さ直径との比(h/d)を $1.90 \sim 2.10$ とすることを原則とし、補正を行わない。)

(表-2)

測定結果表

表頭欄 RC床版コア一覧表

径間	採取位置	試験用NO	コアNO	コア長 (mm)	コア径 (mm)	コア重量 (g)	破壊荷重 (KN)	圧縮強度 (N/mm ²)	換算強度	コア面積 (mm ²)	コア体積 (mm ³)	単位体積重量 (Kg/m ³)	鉄筋有無	備考
10	左	10L1	P9-10_左1	200	93.8	3,304	157	22.8	22.8	6.877	1,375,471	2,402	○	
		10L2	P9-10_左2	180	99.7	3,344	85.2	10.9	10.7	7.985	1,454,528	2,381	○	鉄筋が多く留意できる、
		10C1	P9-10_中1	180	99.8	3,383	475	61.0	61.0	7.787	1,451,719	2,421	○	
	右	10R1	P9-10_右1	200	94.0	3,138	152	21.9	21.9	6.936	1,367,253	2,381	○	
		10R2	P9-10_右2	196	99.4	3,752	460	59.3	59.3	7.756	1,523,193	2,498	○	
		11L1	P10-11_左1	120	93.2	1,999	137	20.1	18.7	6.819	816,244	2,420	○	
11	左	11L2	P10-11_左2	190	93.2	3,052	132	18.4	18.4	6.819	1,259,933	2,358	○	
		11C1	P10-11_中1	159	94.0	2,504	185	28.1	27.2	6.538	1,152,888	2,270	○	
	中	11C2	P10-11_中2	180	94.0	3,039	163	23.5	23.5	6.528	1,348,527	2,424	○	
		11R1	P10-11_右1	170	99.9	3,149	238	30.4	29.7	7.524	1,333,829	2,384	○	
	右	11R2	P10-11_右2	124	93.7	2,078	127	18.4	17.2	6.892	854,615	2,433	○	上面から50mm位置で水平方向ひび割れ
		12L1	P11-12_左1	186	99.8	3,478	243	31.1	30.8	7.819	1,454,265	2,392	○	
12	左	12L2	P11-12_左2	190	99.7	3,598	415	53.2	53.2	7.803	1,482,594	2,427	○	
		12C1	P11-12_中1	180	93.4	2,872	128	18.4	18.4	6.848	1,233,638	2,339	○	
	中	12C2	P11-12_中2	200	94.0	3,447	283	38.5	38.5	6.538	1,397,282	2,485	○	
		12R1	P11-12_右1	190	99.5	3,427	224	29.8	29.8	7.772	1,476,828	2,521	○	
	右	12R2	P11-12_右2	188	93.5	3,097	225	32.8	32.8	6.863	1,393,181	2,400	○	
		13L1	P12-13_左1	197	93.5	2,647	161	23.5	22.9	6.863	1,077,438	2,457	○	
13	左	13L2	P12-13_左2	147	93.5	2,512	188	28.9	27.9	6.863	1,058,812	2,450	○	
		13C1	P12-13_中1	197	94.0	3,215	205	29.6	29.6	6.936	1,368,443	2,381	○	
	中	13C2	P12-13_中2	200	99.2	3,723	110	14.2	14.2	7.729	1,544,888	2,410	○	
		13R1	P12-13_右1	158	99.9	2,829	255	32.5	31.4	7.821	1,237,823	2,385	○	
	右	13R2	P12-13_右2	120	93.5	1,954	180	27.7	25.8	6.863	833,528	2,375	○	
		14L1	P13-14_左1	186	93.7	3,188	125	18.2	18.2	6.877	1,076,188	2,487	○	
14	左	14L2	P13-14_左2	190	93.7	3,188	152	22.1	21.0	6.892	1,359,491	2,435	○	
		14C1	P13-14_中1	138	93.5	2,352	165	24.0	22.8	6.893	941,046	2,464	○	
	中	14C2	P13-14_中2	190	93.5	3,108	102	14.3	14.9	6.893	1,353,987	2,382	○	
		14R1	P13-14_右1	147	94.0	2,538	273	38.4	38.0	6.528	1,318,828	2,489	○	
	右	14R2	P13-14_右2	180	93.5	2,644	185	22.8	22.1	6.893	1,068,027	2,498	○	

N= 39 本

径間	採取位置	試験用NO	コアNO	コア長 (mm)	コア径 (mm)	コア重量 (g)	破壊荷重 (KN)	圧縮強度 (N/mm ²)	換算強度	コア面積 (mm ²)	コア体積 (mm ³)	単位体積重量 (Kg/m ³)	鉄筋有無	備考
13	撤去床版	①	P12-13_①	200	93.50	3,288	173	25.2	25.2	6.863	1,372,533	2,389	○	
		②	P12-13_②	200	94.00	3,337	325	46.9	46.9	6.898	1,381,232	2,403	○	
		③	P12-13_③	180	96.30	3,448	207	26.7	26.3	7.740	1,393,237	2,473	○	
		④	P12-13_④	136	98.70	2,500	269	34.5	32.1	7.803	1,061,204	2,355	○	上面から50mmでひび

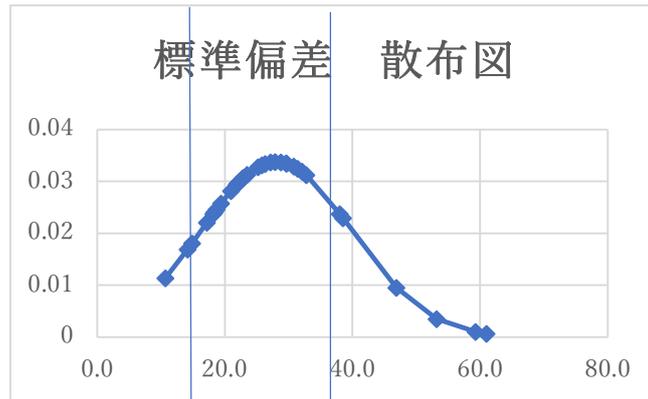
(表-3)

長さ補正を行い、圧縮強度を下記に一覧する。

補正強度一覧

22.8	59.3	29.7	38.5	29.6	21.0	25.2
10.7	18.7	17.2	28.8	14.2	22.8	46.9
61.0	19.4	30.8	32.8	31.4	14.9	26.3
22.2	27.2	53.2	22.9	25.8	38.0	32.1
21.9	23.5	18.4	27.9	18.2	22.1	

(表-4)



平均値 = 28.1N/mm²

標準偏差 = 11.78

適用示方書：昭和14年2月 から当時の年間平均推定強度の資料をみると

昭和14年：年平均推定強度 153.0Kg/cm²、昭和23年：年平均推定強度 103.6Kg/cm² の記録があり、ほぼ上回っている数値である。

今後セメント量についても 14.9N/mm² 及び 61.0N/mm² コアのセメント量推定試験を実施し、確認を行うことでより正確な判断ができるものとする。

鉄筋がコアの横断方向に入っているが、鉄筋とコンクリートの降伏点の違いにより圧縮強度試験値への影響はほとんど無いものと判断する。

塩分量が発錆限界を超え腐食の確認される鉄筋部分において、切断された鉄筋断面部分を確認するに、鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ等の変状確認は見られない。今後、コアごとの塩分量測定を実施しより正確な判断を行うものとする。



経年劣化について

生コン工場の操業開始は、昭和24年の東京コンクリート工業㈱の記録があります。山形県置賜地方における主な生コン工場の操業開始は、昭和47～8年頃になるようである。それ以前のコンクリートは、現場練りにて施工がされていたと推察される。コンクリートバイブレーターの普及も昭和46年頃からあり、50年以上前のコンクリート構造物は、現場練りであり、締固めも竹の棒で突き固めた施工だったようである。

RC示方書の配合強度の規定は、昭和28年版では、設計に用いる強度の1.15倍となっており、不良率は50%であった。31年度版から統計的手法が用いられ、母集団に対して一定の不良率が与えられ、それを満足するように割増すことが定められた。

水セメント比の管理は、昭和49年より新設された。

コンクリート構造物の劣化等診断を行う時、材料の自動供給かされた生コン工場時代と現場練り時代を同じように調査することは無理があるとする。この構造物の強度は呼び強度24-8-25というような昭和53年生コン JIS 規格の改定に伴い定められた固定概念で、コアを採取して得られた圧縮強度値の

一つがたまたま 24N に近い場合など、全体がその値と認識してしまい測定値の基準と考えてしまう場合があるのではないだろうか。また、反対に小さい場合全体が小さい値と捉えてしまいがちではないだろうか。現場練りコンクリートにおいては、品質のバラツキが大きくなるようです。昭和 5 年に建てられた旧建築会館の解体の際に行われたコア試験の結果は 150Kg/cm²~500Kg/cm² の範囲に分布しておりかなり大きくばらついています。正しい値を求めるためには、数多くのコアを採取し実際の強度を確認する必要があります。求めた値はその箇所の値であり平均値が構造物の値とはならないと考える。全体的な標準偏差値から施工のバラツキは、把握できる。

まとめ

以上のことから診断時において現場練りコンクリートの品質について考えることも一つの重要な診断項目と捉える。旧荒地橋のように 50 年以上前に造られたコンクリート構造物は、現場練りコンクリートのため品質に大きなバラツキがあると考えられる。そのため、構造物の大きさにもよるがより多くの試料を採取し現状を把握し補修方法を決定する必要がある。

50 年を超えたコンクリート構造物でも経年だけですべて劣化が進行するものではなく、圧縮試験結果から当初の品質を保持しているものが多くあると考えられる。経年によって見られる変状として凍害等があるが、凍害等は表面部付近であるのではつり等で劣化部を除去し、健全部を残した断面修復を行うことで再生できるものと考えられる。

これからの補修対象構造物は 50 年以上前に造られたものが数多くあることから、現場練り施工を基本に考えることがより適切な判断につながるものと考えられる。目視による変状の外観ですべてを把握するのは、困難であるし乱暴であるが変状部の除去、再生が補修目的となることもある。変状、劣化の原因として施工不良（品質管理基準の時代的相違を含む）の場合も多くあるので、不良部の部分補修も補修として良好な手段と考えられるだろう。より現状に適合した判断とより適正な補修方法の選定ができれば、健全部をより残したコンクリート構造物の長寿命化が期待できる。そのためにも数多くの試験を実施した診断が重要となる。

また補修においてはつりを行う場合、コンクリートブレーカーを使用することで内部の比較的健全なコンクリートに損傷を与え、補修界面部を不良状態にした補修は、早期再劣化の原因になることは様々な研究論文によって証明されている。これらを解決するため、ウォータージェットはつりの施工がとても有効な施工と考えられる。施工費用は高額になるが、不良部分が正確に除去でき、健全な部分を残し変状が見られる少ない量の施工で補修できることが多くあると考えられるので、確かな補修と補修費用の低減で長期使用に貢献できる。健全部をより残した補修は、長寿命化対策が期待できると考えられる。ライフサイクルコストの低下も大きく期待でき、安心安全な補修となるものと考えられるのではないだろうか。