3. RC 床版薄層増厚補修工法の水張り条件下での疲労耐久性（その２）

Fatigue Durability of Thin Layer Thickening Repair Method for RC Slabs under Water Filling Conditions (Part.2)

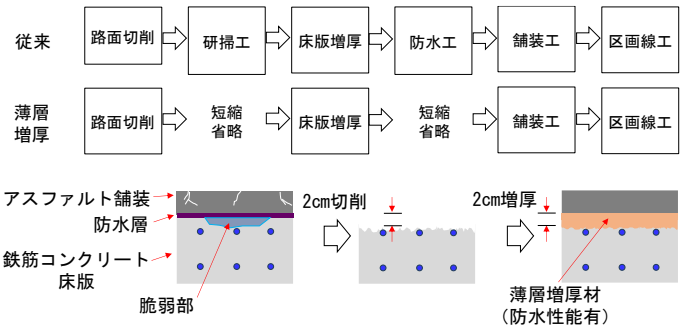
（公財）東京都道路整備保全公社道路部土木技術課　小作 好明、安藤 哲明

1. はじめに

昭和 48 年以前の道路橋示方書の基準（昭和 31 年、39 年など）で建設された鉄筋コンクリート床版（RC 床版）は、床版厚が薄く鉄筋量が少ないなどの要因により、重交通路線では早期にひび割れが発生するなどの問題が生じていた。また、橋面舗装の維持管理において舗装の切削打換えにより、鉄筋コンクリート床版の上面が削られ、さらに床版厚が薄くなって鉄筋コンクリート床版の上側鉄筋の損傷が生じている場合がある。当センターでは、過切削等により床版厚が減少している床版や床版上面の土砂化などが進行して耐久性が劣っている鉄筋コンクリート床版を想定して、床版上面のコンクリートを 2cm 切削し、防水性能を高めた薄層増厚材を元の床版厚まで回復させて補修・補強する薄層増厚工法の検討を行っている。本稿では、昭和 39 年の道路橋示方書を基準にした鉄筋コンクリート床版の床版試験体を複数製作し、ゴムタイヤ式輪荷重走行疲労試験機（以下、走行試験機という。）を使用して、薄層増厚を行った場合の疲労耐久性を検討した。

2. 薄層増厚工法の概要

当センターで検討している薄層増厚工法の概要を図―１に示す。翌朝に交通開放の必要がある夜間工事では施工時間に制約があるため、時間短縮を念頭においた方法を検討する必要がある。そこで、検討する薄層増厚工法では、鉄筋コンクリート床版とアスファルト舗装の間の防水層をなくし、防水機能を付加したコンクリート系の薄層増厚材を防水材として機能させることにより、防水工を省略して施工時間の短縮を図ろうとするものである。また、ショットブラストなどによる既設床版上面の研掃工も省略し、施工時間をさらに短縮させるものである。



図－1　薄層増厚工法の概要

3. 輪荷重走行疲労試験の概要

(1) 走行疲労試験の方法

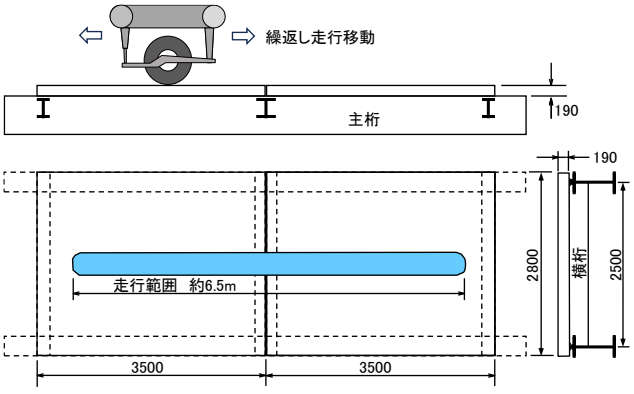
輪荷重走行疲労試験（以下、走行試験という。）の様子を写真－1 に示し、走行試験の概要図を図－2 に示す。床版試験体 2 体を主桁上に連続して配置し、床版試験体同士の接触面には 5mm のゴム板を挿入し、合わせ面としている。この走行試験では床版試験体の中央部をタイヤが約 6.5ｍの範囲で往復を繰り返して走行する。床版試験体の上面にはアスファルト舗装を施工しておらず、床版

試験体に直接タイヤからの荷重が作用する。走行荷重は、旧道路橋示方書における設計荷重の約 2 倍の 160kN 一定としている。

本試験では新設の道路橋鉄筋コンクリート床版に薄層増厚材を施工するものではなく、損傷した鉄筋コンクリート床版を補強･補修した場合の疲労耐久性を検討することを目的としている。そのため、補修・補強の手段である薄層増厚材の加工をするよりも前に、予備載荷としてあらかじめ損傷を与えている。予備載荷としては、床版試験体下面のひび割れ密度が目安として 10m/㎡程度になるように走行することによって事前に損傷を与えた。次にあらかじめ損傷を与えた床版試験体の上面を路面切削機で 2cm 切削し、その上に薄層増厚材 2cm を施工して切削前と同じ床版厚にした。その後、水張条件下で輪荷重 160kN の繰返し荷重を与えて床版試験体が破壊するまで走行し疲労耐久性を検討した。



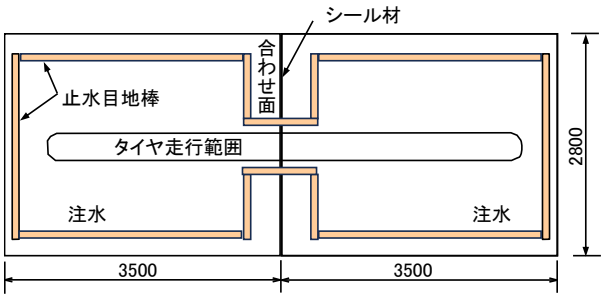
写真－1　輪荷重走行疲労試験の様子
（水張条件）



図－2　床版試験体設置図

(2)　水張方法

水張条件での水張の方法を図－3 に示す。水張条件の場合、床版試験体の上面にプラスチック製の目地棒を額縁状に接着剤で設置し、水を堰き止めた。床版試験体の合わせ面には漏水を最小限にするため止水用シール材を充填した。また、床版下面にビニールシートを設置して漏水を集水した。走行試験では、水道水を 1 日 1～2 回約 20ℓ 注水して常に水張状態となるようにした。



図－3　水張条件の水張の方法

(3)　床版試験体

比較検討する床版試験体の概要を表―1 に示す。床版試験体の母材は、昭和 39 年の道路橋示方書に基づき製作した。走行疲労試験において、床版試験体の上側表面に水を供給しながら実施する条件を水張条件とし、水を供給しない場合を乾燥条件とした。

さらに、薄層増厚による効果と比較するため、切削と薄層増厚を行わない無補強の場合についても輪荷重走行試験を実施した。

床版試験体の略称は、乾 1、乾 2、薄 3、薄 4、薄 5、薄 6、水 7、水 8 とした。略称である乾 1、乾 2 は、切削と薄層増厚を行わず、無補強のまま乾燥条件で走行試験を行った場合であり、床版試験体の No. が 1 と 2 であることを意味する。水 7、水 8 は、切削と薄層増厚を行わず、無補強のまま、水張条件で走行試験を行った場合であり、床版試験体の No. が 7 と 8 であることを意味する。

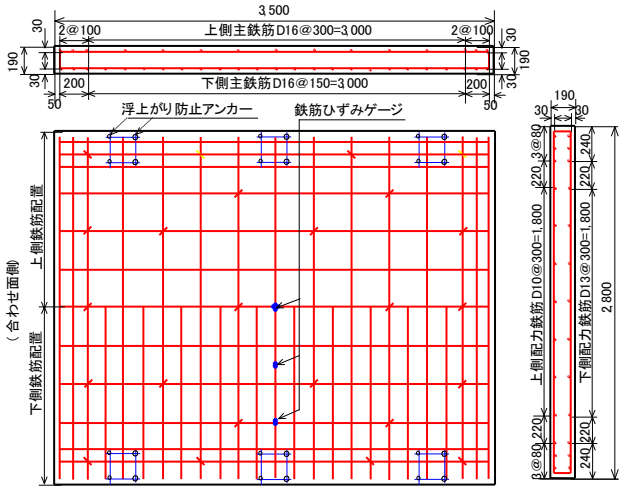
略称である薄 3、薄 4、薄 5、薄 6 は、切削と薄層増厚を実施して補修･補強し、水張条件で走行試験を行った場合であり、床版試験体の No. が 3 から 6 であることを意味する。

薄層増厚材の選定は、令和 2 年度に開発中を含めた 10 種類について事前評価を行い、4 種類を選定し、薄 3、薄 4、薄 5、薄 6 とした。

床版試験体の形状寸法と配筋図を図－4 に示す。床版試験体は、橋軸方向の長さ 3.5m、橋軸直角方向の幅 2.8m（支間長 2.5m）、床版試験体の厚さ 19cm とした。床版試験体を製作する際には、床版の中央の鉄筋にひずみゲージを取り付け、鉄筋ひずみの計測ができるようにした。

表－1　床版試験体の概要

		形状	乾燥水張条件	床版試験体No	床版試験体略称	走行試験実施時期
無補強	切削なし	長さ 3.5m 幅 2.8m 厚さ 19cm	乾燥条件	No. 1	乾1	令和3年
			乾燥条件	No. 2	乾2	令和3年
薄層増厚	切削 2cm 増厚 2cm		水張条件	No. 3	薄3	令和5年
			水張条件	No. 4	薄4	令和5年
			水張条件	No. 5	薄5	令和6年
			水張条件	No. 6	薄6	令和6年
無補強	切削なし		水張条件	No. 7	水7	令和7年
			水張条件	No. 8	水8	令和7年



図－4　床版試験体の形状寸法（母材）

(4)　床版試験体の使用材料（母材）

床版試験体の鉄筋は SD295A の D16、D13、D10 である。鉄筋の物性値を表－2 に示す。表－2 に示す値は鉄筋試験片 3 本の平均値である。

母材のコンクリートの配合表を表－3 に示し、供試体の試験結果を表－4 に示す。表－4 に示す値は供試体 3 本の平均値を概ね示しているが、材齢 7 日と材齢 56 日では、供試体 2 本の平均値の場合もある。材齢 7 日、28 日、56 日の供試体は、床版試験体製作時のコンクリート打設時に作成した供試体（φ100×h200mm）であるが、材齢 386 日、364 日の供試体は、走行試験後にコアドリルによって床版試験体を削孔して抜き出した供試体（φ100×h190mm）である。そのため、薄 3 から薄 6 の供試体は上部約 2cm が薄層増厚材を含んだものである。

表－2　鉄筋の物性値（母材）

	略称	乾1	乾2	薄3	薄4	薄5	薄6	水7	水8
		無補強		薄層増厚				無補強	
降伏応力 (N/mm²)	鉄筋D16	338.7		361.1		343.5		344.3	
	鉄筋D13	355.2		360.7		344.9		350.9	
	鉄筋D10	364.3		366.1		341.0		328.9	
引張強さ (N/mm²)	鉄筋D16	492.2		494.3		511.6		521.5	
	鉄筋D13	485.1		501.4		518.9		518.1	
	鉄筋D10	525.4		500.6		467.5		471.7	
弾性係数 (kN/mm²)	鉄筋D16	186.8		184.5		186.7		187.4	
	鉄筋D13	182.2		177.4		189.0		189.1	
	鉄筋D10	171.8		174.3		186.2		186.2	
破断伸び (%)	鉄筋D16	16.4		18.1		18.3		20.4	
	鉄筋D13	21.7		19.9		18.6		20.7	
	鉄筋D10	18.2		18.6		18.4		21.9	

床版試験体の母材コンクリートの物性値は、概ね圧縮強度 30 N/mm²程度、静弾性係数 27 kN/mm²程度、ポアソン比 0.2 程度、割裂引張強度 2.0 N/mm²程度である。

表－3　配合表（母材）

記号	W/C	配合表(kg/m³)					
	(%)	C	W	S1	S2	G	Ad*
18-8-20-N	67.0	239	160	627	269	1004	2.39

*AE減水剤

表－4　コンクリートの物性値（母材）

	乾1	乾2	薄3	薄4	薄5	薄6	水7	水8
	無補強		薄層増厚				無補強	
圧縮強度 (N/mm²)	材齢7日							
	－		19.0		20.6		22.6	
	材齢28日							
	25.1		24.6		29.2		29.8	
	材齢56日							
	－		27.0		31.3		－	
	－		－		材齢386日 増厚材含む		材齢364日 増厚材含む	
	－		－		31.9	32.9	29.1	31.0
静弾性係数 (kN/mm²)	材齢28日							
	28.7		30.7		26.5		25.5	
	－		－		材齢386日 増厚材含む		材齢364日 増厚材含む	
	－		－		26.5	27.4	25.0	26.7
ポアソン比 (-)	材齢28日							
	－		0.19		0.19		0.19	
	－		－		材齢386日 増厚材含む		材齢364日 増厚材含む	
	－		－		0.20	0.20	0.20	0.24
割裂引張強度(N/mm²)	材齢28日							
	2.14		1.97		2.00		2.17	

4.　床版試験体の切削と薄層増厚材の施工

床版試験体の切削については、切削機の移動をしやすくするため、野外のヤードにおいて土を約20cm 掘り下げ、厚さ 19cm の床版試験体をその掘削箇所に埋め込み、地表面と切削面の高低差をなくした。その後、切削機を走行させて約 2cm 切削し、その上に薄層増厚を施工し元の床版厚と同じ19cm にした。床版試験体の加工の様子を写真－2から写真－9 に示す。



写真－2　掘削状況(薄 6 の場合)



写真－3　切削状況(薄 5 薄 6 の場合)



写真－4　切削完了状況(薄 4 薄 3 の場合)



写真－5　接着剤塗布(薄 3 の場合)



写真－6　敷き均し状況(薄 3 の場合)



写真－7　敷き均し状況(薄 4 の場合)



写真－8　敷き均し状況(薄 5 の場合)



写真－9　敷き均し状況(薄 6 の場合)

表－5　薄層増厚材の概要

	薄3	薄4	薄5	薄6
	薄層増厚			
増厚材料	超速硬ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ	高強度緻密ﾓﾙﾀﾙ	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙﾎﾟﾘﾏｰｺﾝｸﾘｰﾄ	特殊ﾐｯｸｽｾﾒﾝﾄのｺﾝｸﾘｰﾄ
繊維補強	ビニロン繊維	鋼繊維	—	鋼繊維
切削後の下地処理	清掃のみ	清掃のみ	清掃のみ	ｳｫｰﾀｰｼﾞｪｯﾄ
増厚材と母材の接着材	あり	あり	あり	なし
浸透型防水材	あり	なし	なし	なし

薄層増厚材の概要を表－5 に示し、薄層増厚材の供試体についての試験結果を表－6 に示す。表－6 に示す値は供試体 3 本の平均値である。薄層増厚材の供試体（φ50×h100㎜）は、床版試験体を切削後、薄層増厚を施工した際に作成したものである。また、防水性試験Ⅱ[1)]の供試体は、走行試験終了後に床版試験体上面増厚部の浮きのない箇所から直径 10cm のコア 3 個を採取したものである。

表－6　薄層増厚材の物性値

		薄3	薄4	薄5	薄6
圧縮強度(N/㎟)	材齢 3日	43.9	54.0	76.7	67.4
	材齢28日	49.8	115.5	78.2	121.1
	材齢38日	55.1	121.5	81.4	136.2
静弾性係数(kN/㎟)	材齢 3日	22.8	33.9	20.9	25.3
	材齢28日	24.4	45.2	21.8	33.0
	材齢38日	25.6	46.7	22.2	34.2
ポアソン比(-)	材齢 3日	0.25	0.16	0.23	0.23
	材齢28日	0.23	0.20	0.24	0.30
	材齢38日	0.23	0.21	0.22	0.26
割裂引張強度(N/㎟)	材齢 3日	3.23	4.87	9.21	13.66
	材齢28日	3.55	8.11	9.59	13.43
	材齢38日	3.29	8.64	9.30	15.49
防水性試験Ⅱ[1)]	走行試験後	合格	不合格	合格	合格

5.　走行疲労試験の結果

(1)　走行回数

表－7 に予備載荷走行回数と破壊走行回数を示す。走行回数 1 回は走行試験機のタイヤが 1 回通過した片道 1 回のことである。ここでの破壊走行回数は、走行試験機のタイヤが走行できず、床版試験体が 160kN の荷重に耐えられなかった場合の回数である。破壊走行回数（総数）は、予備載荷の走行回数（1500 回または 2000 回）を含んだ走行回数であり、施工･水張後の走行回数は、破壊走行回数（総数）から予備載荷走行回数を差し引いた走行回数である。なお、乾 1 と乾 2 では、予備載荷の際のひび割れ密度の測定を実施しておらず、ひび割れ密度を記載していない。これは、切削と薄層増厚を行わず無補強のまま乾燥条件で走行試験を行ったためである。

走行試験の結果、表－7 に示すとおり、破壊走行回数は、乾 2、乾 1、薄 3、薄 6、薄 4、水 8、水 7、薄 5 の順に多く、この順に疲労耐久性が高いと考えられる。

表－7　走行回数

略称	乾1	乾2	薄3	薄4	薄5	薄6	水7	水8
	無補強		薄層増厚				無補強	
条件	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥
予備載荷走行回数	1,500	1,500	2,000	2,000	1,500	1,500	1,500	1,500
予備載荷ひび割れ密度(m/㎡)	—	—	10.95	10.21	10.24	9.90	9.88	9.57
条件	乾燥	乾燥	水張	水張	水張	水張	水張	水張
施工･水張後の破壊走行回数	29,478	83,776	26,450	11,255	2,554	16,164	3,331	10,618
平均	56,627		26,450	11,255	2,554	16,164	6,975	
破壊走行回数（総数）	30,978	85,276	28,450	13,255	4,054	17,664	4,831	12,118
平均	58,127		28,450	13,255	4,054	17,664	8,475	

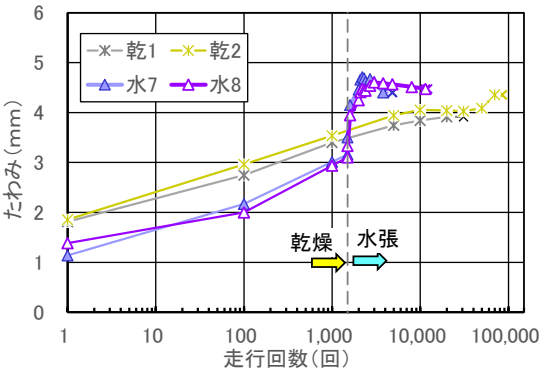
(2)　乾燥条件と水張条件の比較

切削と薄層増厚を行なわない無補強の場合において、乾燥条件と水張条件で施工･水張後の破壊走行回数を比較すると、乾 1 と乾 2 の平均 56627 回、水 7 と水 8 の 6975 回となり、これらの値の比は 8.12 となり、乾燥条件は水張条件の約 8 倍、もしくは水張条件は乾燥条件の 1/8 になった。

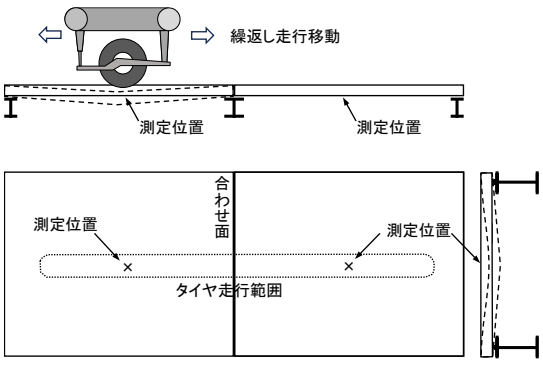
(3)　無補強の場合の結果

図－5 に乾 1、乾 2、水 7、水 8 の無補強の場合のたわみの推移を示す。水 7 と水 8 では、乾燥条件から水張条件に切り替えた走行回数 1500 回から急速にたわみの値が増加するようになり、水張条件では、乾燥条件に比べて耐久性が低下しやすいことが見て取れる。水張条件では、たわみ量が一度ピークに達した後、たわみ量が減るという現象がある。これはひび割れが進行していくと床版試験体の形状が折れ曲がった変形から丸みを帯びた変形になっていくためではないかと推測している。また、走行回数 1500 回に着目すると、水張条件のたわみ量は、乾燥条件に比べて大きくなっていることから、水分を含んだ床版試験体は、たわみやすくなることが考えられる。なお、図－5 に示したたわみ量は、図－6 に示すように床版試験体のほぼ中央の位置で測定した値である。

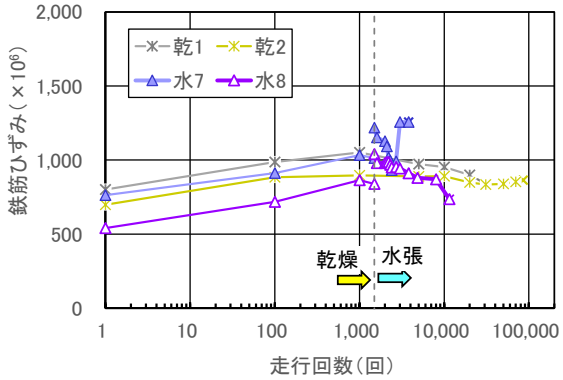
図－7 から図－10 に床版試験体中央位置において 160kN の荷重をかけた場合の下側主鉄筋、下側配力鉄筋、上側主鉄筋、上側配力鉄筋に貼り付けたひずみゲージによるひずみの測定値を示す。乾燥条件から水張条件に切り替えた走行回数 1500 回を境に鉄筋ひずみの挙動が乾燥条件とは異なるようになる。



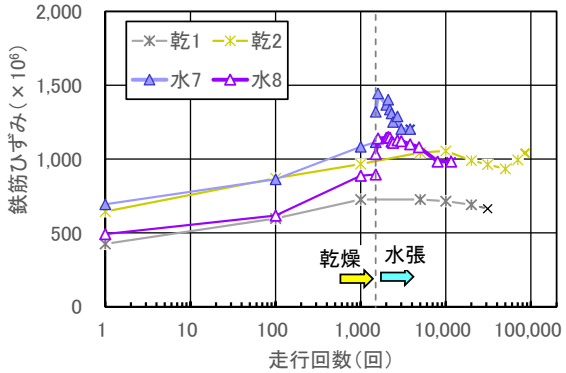
図－5　たわみの推移



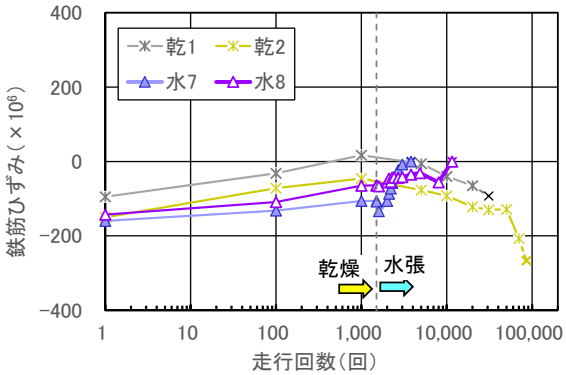
図－6　測定位置



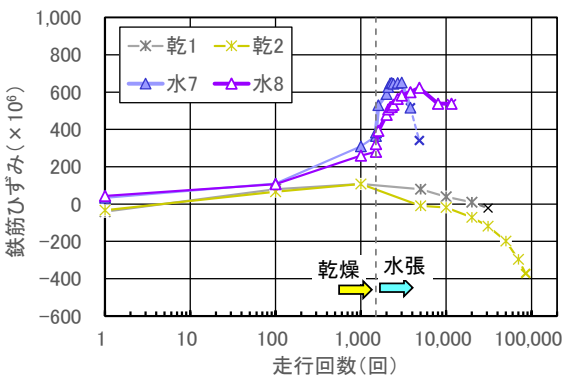
図－7　下側主鉄筋ひずみの推移



図－8　下側配力鉄筋ひずみの推移

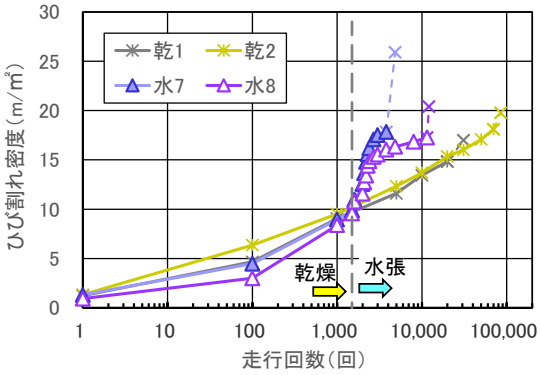


図－9　上側主鉄筋ひずみの推移



図－10　上側配力鉄筋ひずみの推移

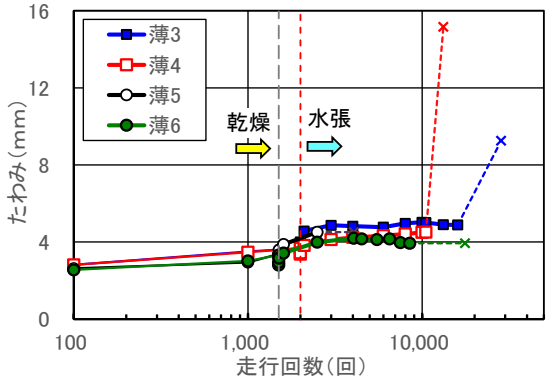
図－11 に床版試験体の下面における格子密度法によるひび割れ密度を示す。乾燥条件から水張条件に切り替えた走行回数 1500 回を境に水 7、水 8 のひび割れ密度の増加速度が乾 1、乾 2 に比べて大きくなる。



図－11　下面ひび割れ密度の推移

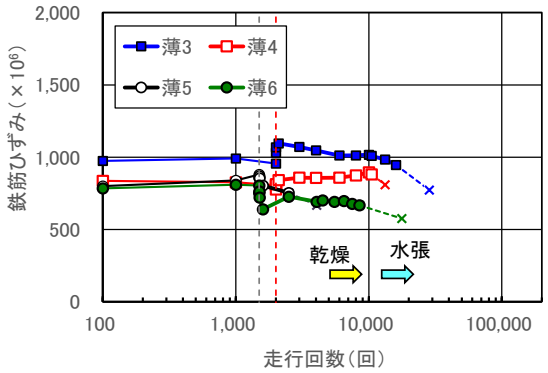
(4)　薄層増厚の場合の結果

図－12 に床版試験体を 2cm 切削し、切削部 2cm の上層部分に薄層増厚材を施工した薄 3、薄 4、薄 5、薄 6 のたわみの推移を示す。水張条件での薄 3、薄 6 では、たわみ量が一度ピークに達した後、たわみ量が減るという現象が見られる。なお、図中の破線と×印は、破壊走行回数を明示するために表示したものである。薄 3 と薄 4 の場合、床版試験体が破壊した後の値、その他のケースではひとつ前のたわみ量値として図示しているため参考値扱いである。

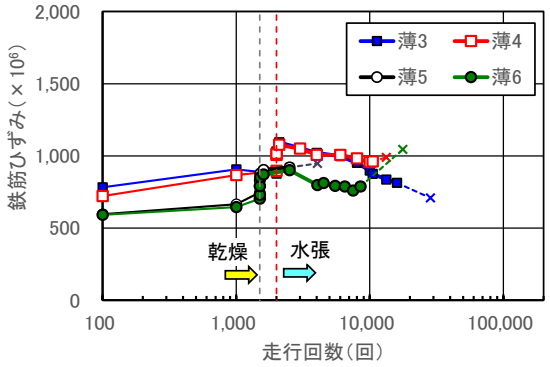


図－12　たわみの推移

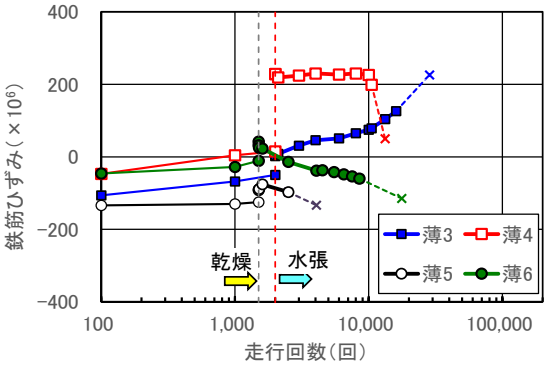
図－13 から図－16 に床版試験体中央位置において 160kN の荷重をかけた場合の薄 3、薄 4、薄 5、薄 6 の下側主鉄筋、下側配力鉄筋、上側主鉄筋、上側配力鉄筋に貼り付けたひずみゲージによるひずみの測定値を示す。同じく、図中の破線と×印は、破壊走行回数を明示するためであり、破壊前 2 データからの推定値であるため参考値扱いである。



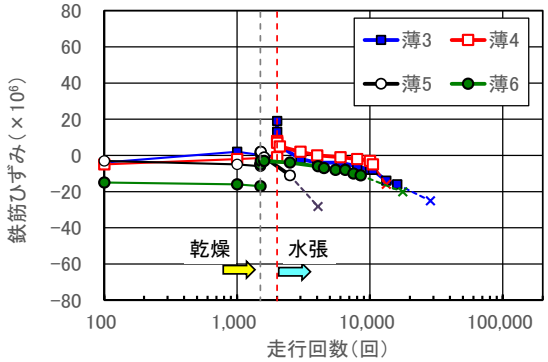
図－13　下側主鉄筋ひずみの推移



図－14　下側配力鉄筋ひずみの推移

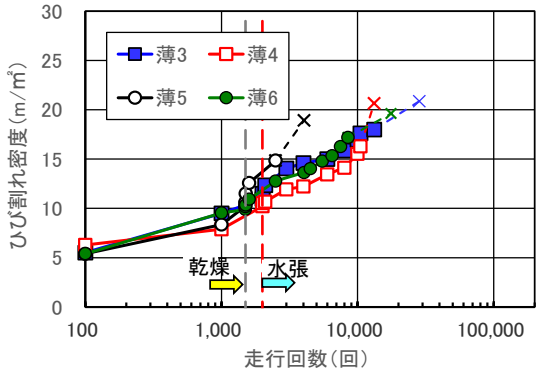


図－15　上側主鉄筋ひずみの推移



図－16　上側配力鉄筋ひずみの推移

また、図－17 に薄 3、薄 4、薄 5、薄 6 における床版試験体の下面における格子密度法によるひび割れ密度の推移を示す。



図－17　下面ひび割れ密度の推移

(5)　薄層増厚の接着強度の結果

表－8 に建研式による接着強度試験の結果を示す。また、写真－9 に接着強度試験の状況、写真－10 に接着強度試験後の採取試料の例を示す。上面 4cm×4cm の四角柱になるように床版試験体おいて切り込みを入れて接着強度試験を実施した。切り込み不良や測定ができなかった場合は表中に値を記入しなかった。この表における材齢の日数は、薄層増厚施工後からの日数である。材齢 10 日以下の接着強度（N/mm²）は、走行試験を実施する前に走行に影響しない床版端部において切り込みを入れて接着強度試験を実施した。材齢 70 日以上の場合は、走行試験で破壊した床版試験体のうち、損傷がないと思われる箇所で実施した。

薄 3、薄 4 の場合、引張による破断面はすべて母材の位置になった。薄 5 では薄層増厚を施工する際に増厚材と母材の間に接着材を塗布しているが、接着部で引張による破断があった。薄 5 の場合、接着部での接着強度が母材よりも低い 0.83N/mm²、0.70N/mm² といった値があり接着強度が小さかった。

薄 6 の場合は増厚材と母材の間にもともと接着材を塗布しておらず、接着部での破断があるが、ウォータージェットで下地処理をしており母材と増厚材が一体化したため接着強度は母材と同等の値となっている。

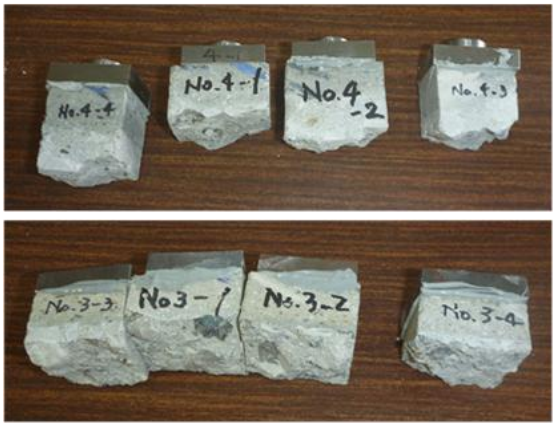
表－8　接着強度

単位：（N/mm²）

供試体	薄3		薄4		薄5		薄6	
	材齢 2～10日	材齢 82日	材齢 2～10日	材齢 82日	材齢 8日	材齢 72日	材齢 6日	材齢 71日
1	母材 1.14	母材 0.88	母材 1.34	母材 1.50	接着部 0.83	母材 1.50	接着部 1.30	接着部 1.19
2	母材 1.54	母材 1.35	母材 2.02	母材 1.79	—	母材 2.03	母材 1.37	母材 1.45
3	母材 1.30	母材 2.26	母材 1.02	母材 1.61	接着部 0.70	母材 0.95	—	接着部 1.93
4	母材 1.20	母材 0.79	母材 1.13	母材 1.64	接着部 1.19	母材 1.22	母材 0.90	—
平均	1.30	1.32	1.38	1.64	0.91	1.43	1.19	1.52
	1.31		1.51		1.20		1.36	
母材平均	1.31		1.51		1.43		1.24	
接着部平均	—		—		0.91		1.47	



写真－9　接着強度試験の状況



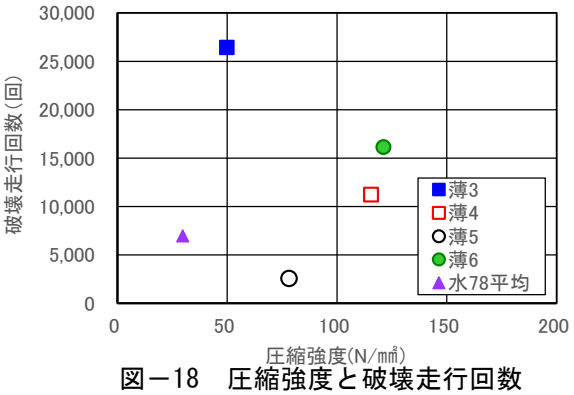
写真－10　接着強度試験後の採取試料の例

(6)　破壊走行回数と物性値

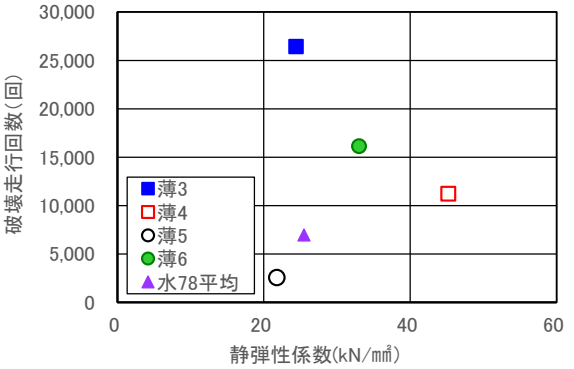
図－18 に増厚材の圧縮強度（材齢 28 日）と破壊走行回数（水張後）の関係を示す。条件を水張条件として比較するため、縦軸の破壊走行回数は、切削･増厚施工し、水張条件に切り替えた時点を 0 回とし、破壊走行回数（総数）から予備載荷走行回数（1500 回または 2000 回）を差し引いた値で

ある。また、図中の水 78 平均とあるのは、水 7 と水 8 では切削･増厚の加工はしていないが、上面 2cm は母材の圧縮強度とし、破壊走行回数は水 7 と水 8 の平均値を示している。圧縮強度は薄 3 が最も小さく、薄 4 と薄 6 の圧縮強度が大きくなっており、薄 5 はそれらの中間である。破壊走行回数と上面 2cm の増厚材の圧縮強度は無関係のようである。

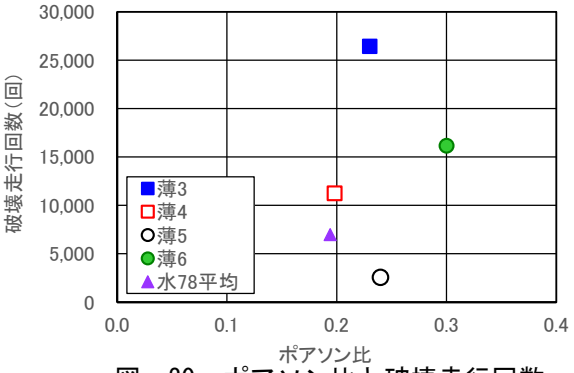
図－19 から図－22 に増厚材の静弾性係数(材齢 28 日)、増厚材のポアソン比(材齢 28 日)、割裂引張強度(材齢 28 日)、接着強度と、破壊走行回数(水張後)の関係を示す。いずれの場合も破壊走行回数と上面 2cm の圧縮強度は無関係のようであり、いずれの場合も相関性はないものと考えられる。



図－18　圧縮強度と破壊走行回数

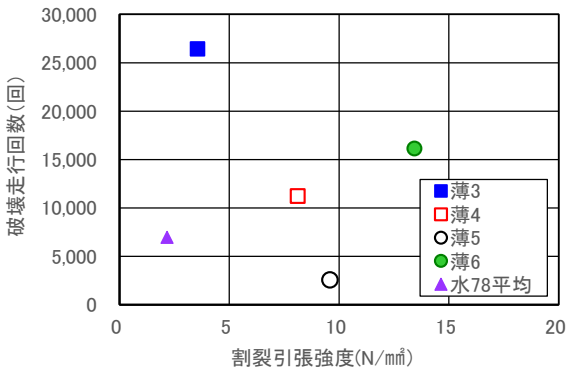


図－19　静弾性係数と破壊走行回数

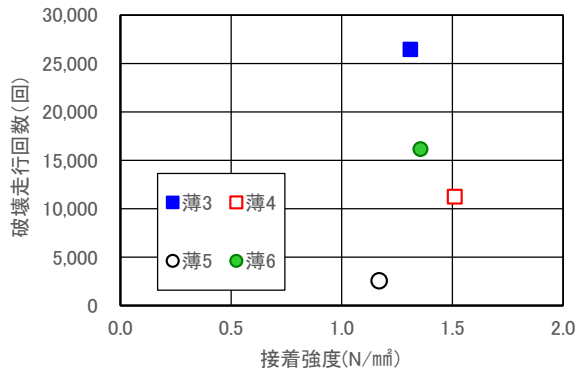


図－20　ポアソン比と破壊走行回数

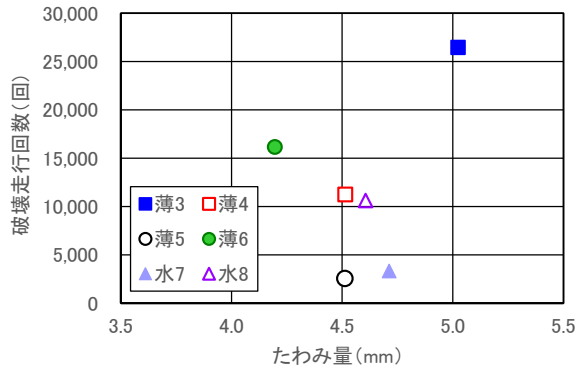
図－23 にたわみ量と破壊走行回数(水張後)の関係を示し、図－22 にたわみ量と静弾性係数の関係を示す。ここでのたわみ量は走行試験で得られたたわみ量の最大の値である。いずれの場合も相関性はないものと考えられる。



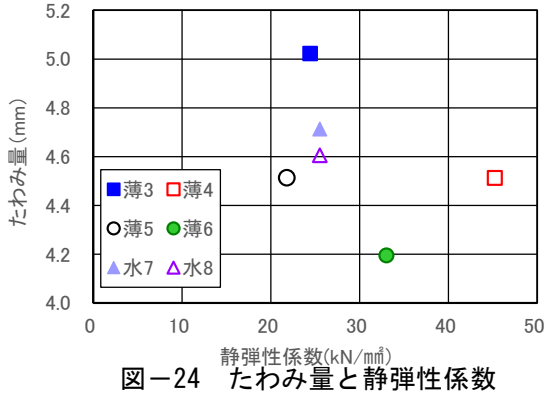
図－21　割裂引張強度と破壊走行回数



図－22　接着強度と破壊走行回数



図－23　たわみ量と破壊走行回数

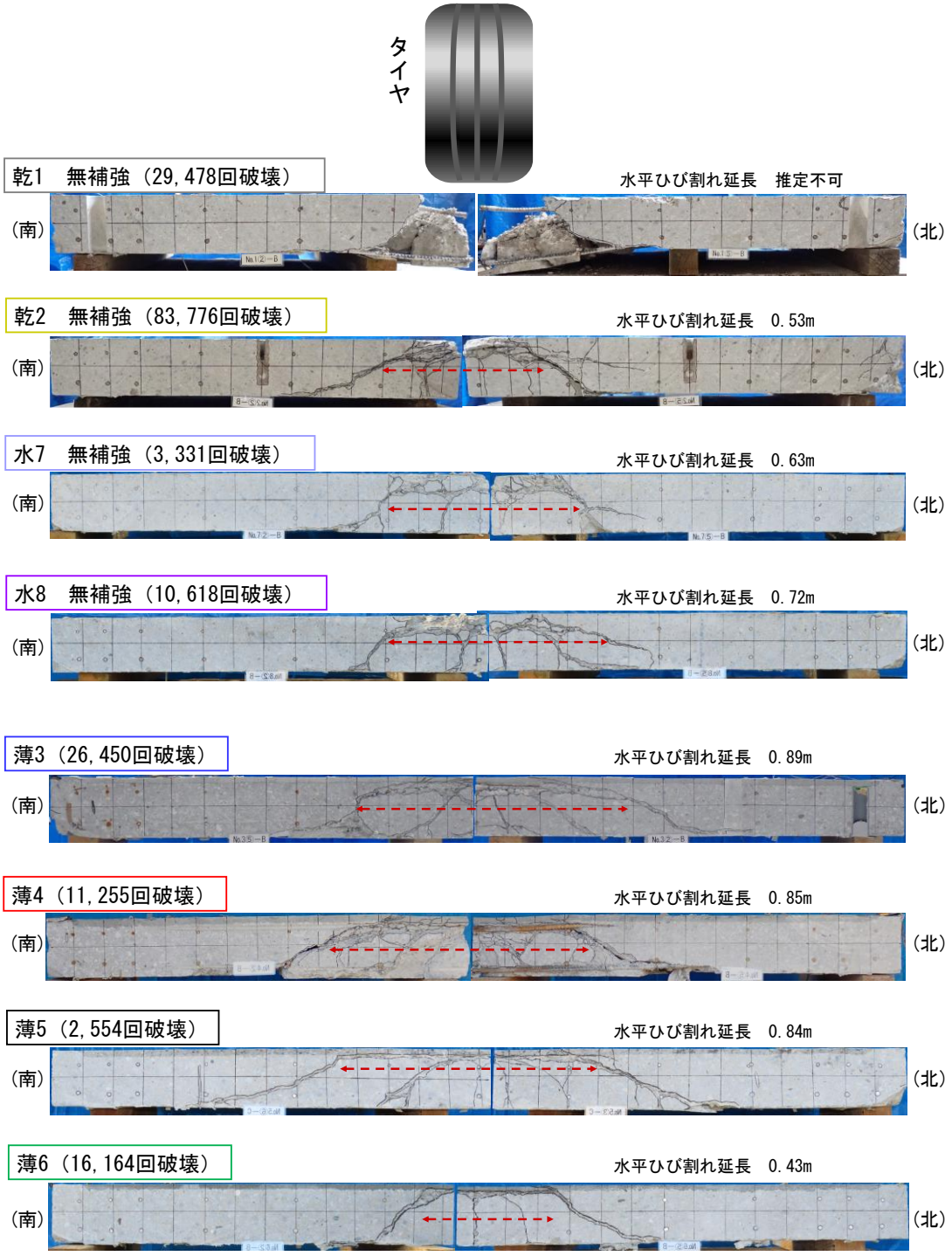


図－24　たわみ量と静弾性係数

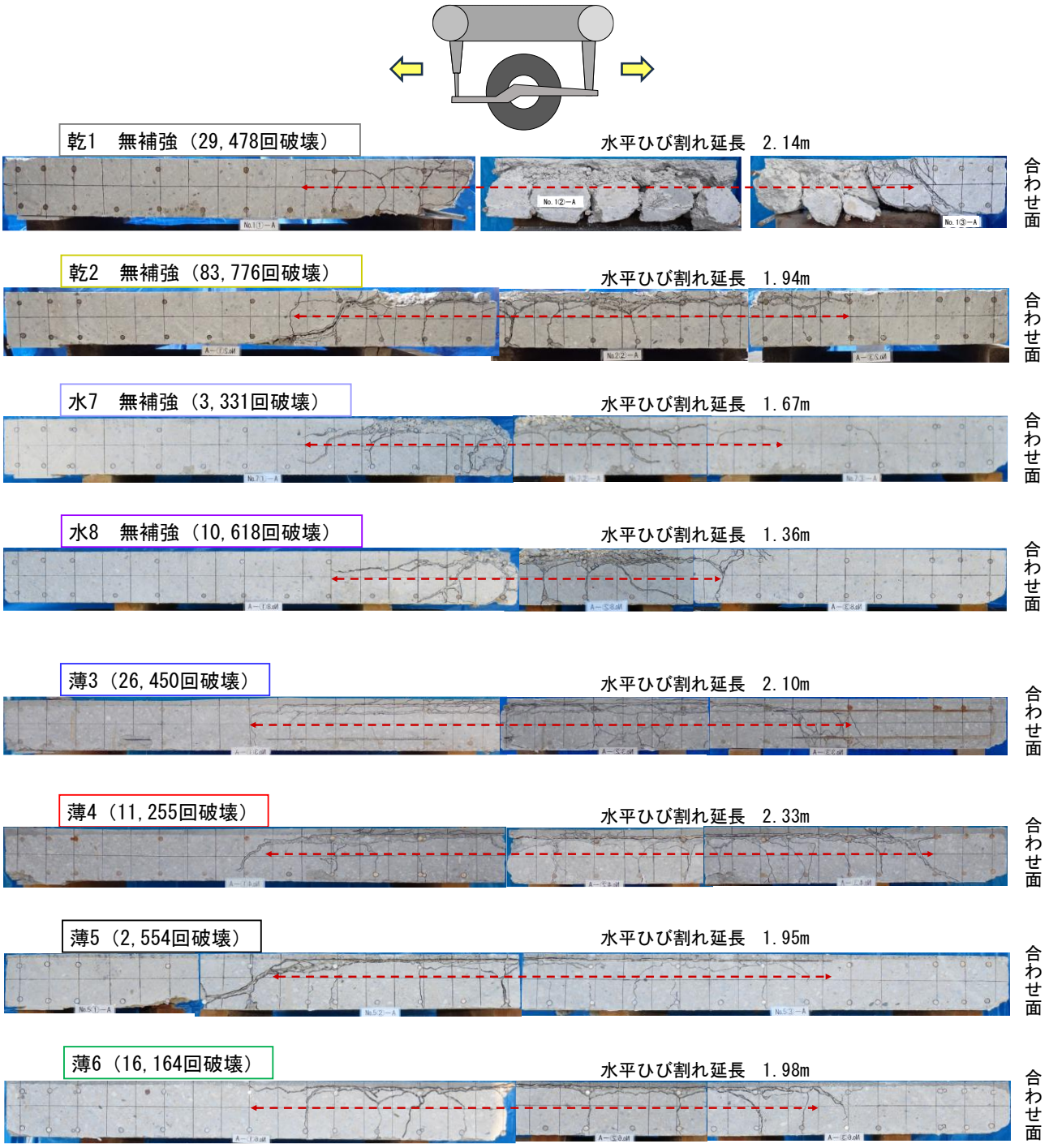
(7)　切断面調査の結果

写真－11 に走行試験で破壊した床版試験体の橋軸直角方向の切断面写真、写真－12 に橋軸方向の切断面写真を示す。この写真は方向を統一するため、角度や大きさ調整、反転など行っており、写真上の文字が鏡文字になっている場合がある。記載の破壊走行回数は、施工･水張後の破壊走行回数である。また、切断面の写真では水平ひび割れの延長を記載している。

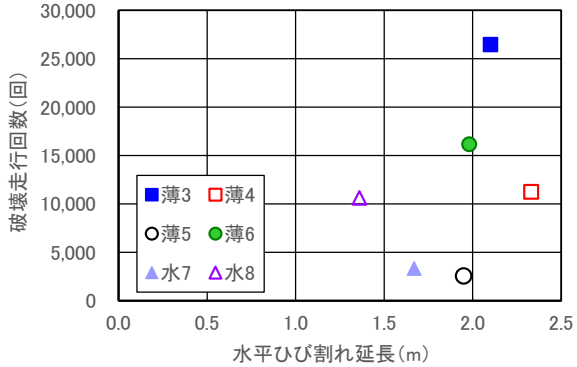
図－25 と図－26 に切断面調査で観察した橋軸方向と橋軸直角方向の水平ひび割れの延長と施工･水張後の破壊走行回数の関係を示す。破壊走行回数は水平ひび割れの延長とは無関係のようである。切断面を観察すると、すべてのケースにおいて上側鉄筋上側の水平ひび割れ、上側鉄筋下側の水平ひび割れ、下側鉄筋に繋がる鉛直のひび



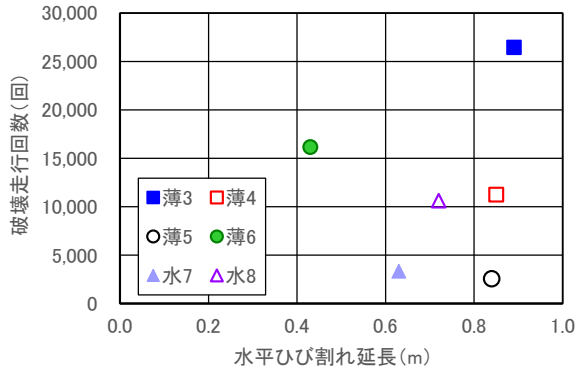
写真－11　橋軸直角方向の切断面



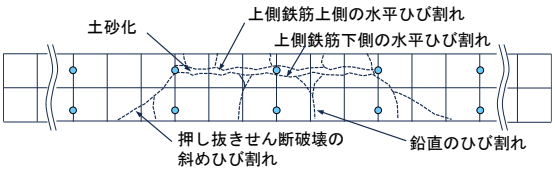
写真－12　橋軸方向の切断面



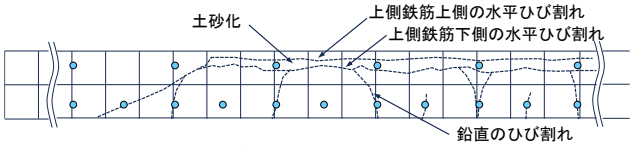
図－25　水平ひび割れの延長と破壊走行回数
（橋軸方向）



図－26　水平ひび割れの延長と破壊走行回数
（橋軸直角方向）



図－27　ひび割れの模式図(橋軸直角方向)



図－28　ひび割れの模式図(橋軸方向)

割れ、押し抜きせん断破壊の斜めひび割れが確認でき、床版試験体の破壊時の形態は類似している。参考に図－27、図－28 にひび割れ形態の模式図を示す。

乾 1、乾 2、水 7、水 8 の無補強の場合、乾燥条件と水張条件の両条件ともに上側鉄筋下側の水平ひび割れより上で土砂化している。薄層増厚を施工した薄 3、薄 4、薄 5、薄 6 の場合は、増厚材が壊れにくいこともあり、上側鉄筋下側の水平ひび割れより上の位置で土砂化しているのは共通している。水平ひびわれは上側鉄筋に沿っている場合と薄層増厚材と母材の接合部で剥離している場合がある。土砂化している場合は上側鉄筋に沿ったひび割れと接合部のひび割れは混在している状態になる。鉛直方向のひび割れは、下側鉄筋に繋がるようである。

破壊走行回数が最も多かった薄 3 では上側鉄筋下側の水平ひび割れがきれいに確認できる。破壊走行回数が多い場合のひび割れ形態と考えられ、上側鉄筋上側と下側の水平ひび割れが進展し、土砂化が進んだ上で押し抜き線せん断破壊に至ったものと推察している。ただし、薄 3 の場合、浸透型防水材があり、その効果が追加されている可能性があり、他のケースとは異なることに留意する必要がある。

一方、破壊走行回数が最も少なかった薄 5 では、上側鉄筋下側の水平ひび割れが少ないことが確認できる。薄 5 の場合、薄層増厚と母材の接着強度が小さかったことにより、上側鉄筋上側の水平ひび割れが進展し、土砂化が進まないまま早期に破壊に至ったことが推察され、母材との一体化が極めて重要であることが改めて確認できる。

(8)　打音調査の結果

写真－13 に水 7 の打音調査による異音範囲を記入した写真、写真－14 に水 8 の打音調査による異音範囲を記入した写真を示す。

写真上に記載した回数は施工･水張後の走行回数である。打音調査は、水 7 と水 8 のみ実施しており、その他のケースでは打音調査をしていない。打音調査では、床版試験体の上面をハンマーで叩き、異音の範囲をチョークで記入するようにした。床版試験体が破壊した後も打音調査をおこない、その後、床版試験体を切断し、ひび割れ状況を観察した。切断面において斜めに入っているひび割れは、打音調査の異音範囲から外れていることから、斜めのひび割れは打音調査で判別ができないようである。

打音調査の異音範囲と切断面調査での水平ひび割れの比較を表－9 に示す。

表－9　打音調査と切断面調査の比較

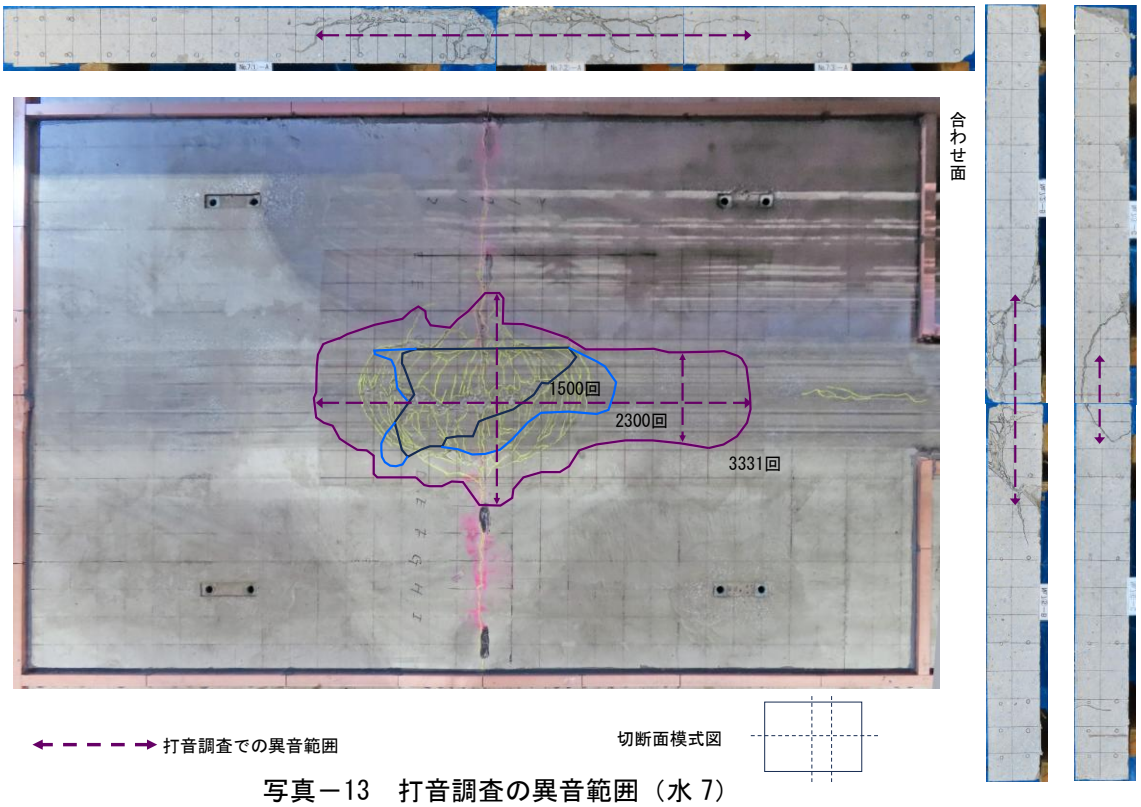
		橋軸方向断面	橋軸直角断面1(中央)	橋軸直角断面2	破壊走行回数(水張後)
		(m)	(m)	(m)	
水7	打音調査異音範囲	1.55	0.77	0.32	3,331
	切断面調査水平ひび割れ	1.67	0.63	0.30	
	一致率	0.93	0.78	0.93	
水8	打音調査	1.72	0.67	0.45	10,618
	切断面調査	1.36	0.72	0.30	
	一致率	0.74	0.93	0.50	

打音調査での異音範囲のうち、切断面の測線で異音範囲の延長を読み取り、測定線を同じにして比較した。切断面で観察した水平ひび割れの延長を真値として打音の異音の延長を比較すると必ずしも一致ない。これは、水平ひび割れが存在せず表面状態が悪く異音となる場合と、水平ひび割れが存在するにもかかわらず、打音で判別できない場合の二つ場合がある。

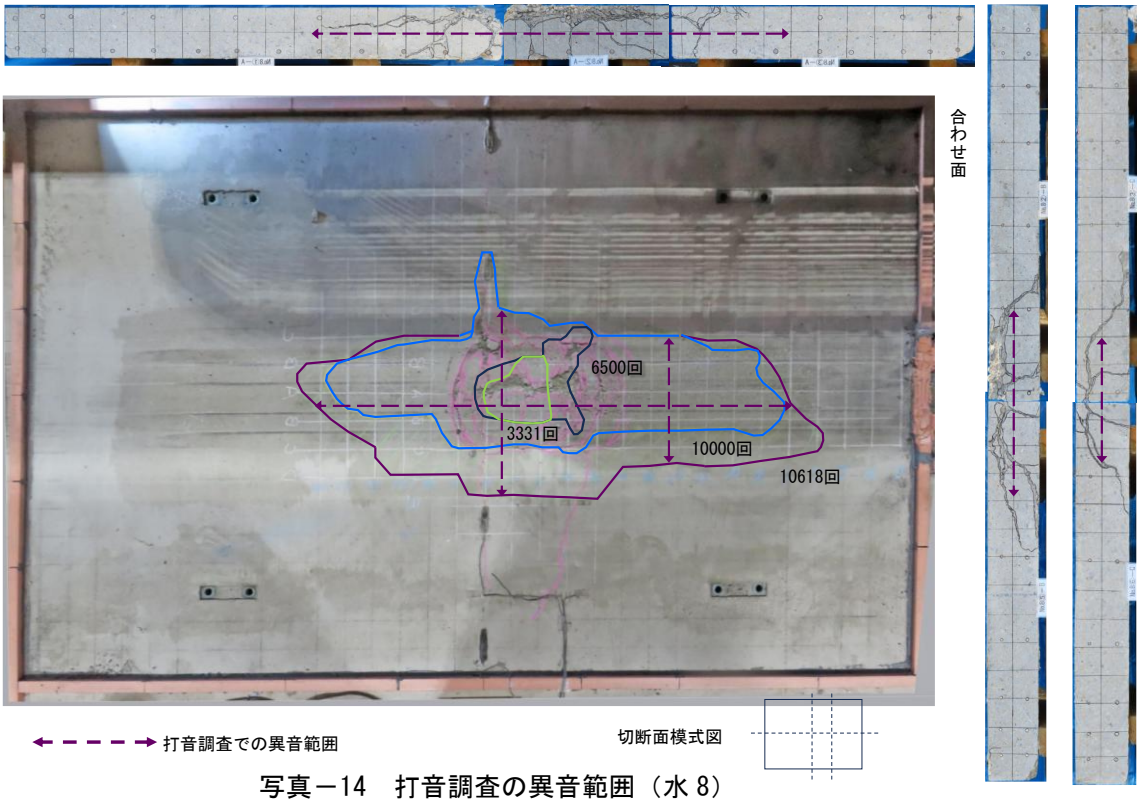
水 7 では水張後 1500 回、水 8 では水張後 3331 回で、打音による異音がはじめて確認されたが、

このときに水平ひび割れが発生したとは必ずしも言い切れない。上側鉄筋に沿って水平ひび割れが実際にはあっても、打音では判別できない場合があるためである。

打音調査で異音が顕在化した場合の水 7 では、1500 回、2300 回、3331 回と異音の範囲が拡大しており、水 8 の場合、3331 回から 10618 回まで異音範囲が拡大している。しかし、水 8 では異音範囲の拡大速度が遅くなっていた。つまり、水 7 の方が異音範囲の拡大速度が速く、水 8 では遅く



写真－13　打音調査の異音範囲（水 7）



写真－14　打音調査の異音範囲（水 8）

なっている。水平ひび割れと異音の範囲は必ずしも一致はしないが、異音の範囲が水平ひび割れに相当すると考えれば、破壊走行回数は、水平ひび割れの長さではなく、水平ひび割れの進展速度に関係し、水平ひび割れの進展速度が速い場合に破壊走行回数が少なくなり、水平ひび割れの進展速度が遅い場合に破壊走行回数が多くなることが推察される。薄3の場合の切断面では接着部と上側鉄筋下側の水平ひび割れがはっきりしており、ひび割れが形成されるまでに時間を要したことが考えられ、浸透型防水材が水平ひび割れの進展を遅くした可能性がある。薄5の場合は接着部の水平ひび割れが顕著であり、接着部が弱かったため、水平ひび割れの進展速度が速かったことが考えられる。上側鉄筋の上側下側の水平ひび割れの進展速度を遅らせることが破壊走行回数の増加につながり、上側鉄筋の上側下側の対策が疲労耐久性の向上につながる可能性があると考えられる。

6. まとめ

乾燥条件無補強の 2 ケース、水張条件無補強の 2 ケース、水張条件の薄層増厚 4 ケースについて走行試験を実施した結果、以下の知見が得られた。

(1) 乾燥条件無補強の 2 ケース、水張条件無補強の2ケースを比較すると、破壊走行回数は、乾燥条件では水張条件の約 8 倍もしくは水張条件は乾燥条件の約 1/8 になった。

(2) 床版試験体厚さ 19cm のうち、母材ではなく、薄層増厚材 2cm 部分の圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度、ポアソン比、接着強度、たわみ量と破壊走行回数には相関性はなかった。

(3) 薄層増厚のケースを比較すると破壊走行回数は、薄3、薄6、薄4、薄5の順に多かった。

(4) 薄層増厚4ケースのうち、破壊走行回数が最も多く、疲労耐久性が高かったケースは薄3の場合であった。薄3の場合、他のケースにはない浸透型防水材があり、その効果が追加されて疲労耐久性が増している可能性があり、今後検討する必要がある。

(5) 最も破壊走行回数が少ない薄 5 の場合、増厚材と母材の接着強度が小さかったため、早期に破壊したではないかと推察された。

(6) 切断面調査によって床版試験体を観察すると、すべてのケースにおいて上側鉄筋上側の水平ひび割れ、上側鉄筋下側の水平ひび割れ、下側鉄筋に繋がる鉛直ひび割れ、押し抜きせん断による破壊の斜めひび割れが確認でき、床版試験体の破壊時の形態は、すべてのケースで類似していた。

(7) 水平ひび割れと打音調査の異音の範囲は必ずしも一致はしないが、異音の範囲が水平ひび割れに相当すると考えれば、破壊走行回数は水平ひび割れの長さではなく、水平ひび割れの進展速度が速い場合に、破壊走行回数が少なくなることが推察された。

参 考 文 献

1) （社）日本道路協会「道路橋床版防水便覧」、平成 19 年 3 月

2) 関口幹夫、櫻田　孝、安藤哲明（2024）：RC 床版薄層増厚補修工法の水張条件下の耐久性、令 6.都土木技術支援･人材育成センター年報、55-68

3) 関口幹夫、時吉賢、前田洋平、櫻田孝（2023）：昭和 39 年道路橋示方書基準の RC 床版厚 160 ㎜と 190 ㎜の疲労耐久性、令 5.都土木技術支援・人材育成センター年報、63-75