

VII-8

籠マットの改良工法に用いられる接着剤成分の水質への影響

北海道開発局 開発土木研究所 ○ 正会員 玉川 尊
 同上 正会員 渡邊康玄
 同上 建設部河川工事課 武田 馨
 同上 佐藤明正

まえがき

河川における護岸工事の工法のひとつとして籠マットが用いられてきた。この工法の特徴は自然石で多孔質な構造であることである。このため、水中では水生昆虫の生息場となり、陸上では水辺植物の生育場となり、生態系を保全するうえで有効な工法となっている。この工法のメリットをさらに高めるため、これらを改良した新しい工法が近年採用されてきている。

しかし、この新しい工法は自然石と金網を一体成形するため接着剤を用いており、接着剤の種類によっては成分中に環境ホルモンを含むものもあり、流水への影響が問題視された。ここでは施工箇所での接着剤の成分の流水への影響について、実態調査を行った結果について報告する。

1. 調査概要

北海道開発局がエポキシ樹脂系の接着剤を護岸に採用したのは1995年からで、当初はビスフェノールA(以下BPAと云う)を原料としたものを採用していた。しかし、1997年に環境庁から出された中間報告で、「内分泌攪乱作用を有すると疑われる化学物質」(環境ホルモン)として指摘された67物質にBPAが含まれていることから、1998年からBPAに替り、中間報告では内分泌攪乱化学物質として示されなかったビスフェノールF(以下BPFと云う)を原料とした接着剤に切り替えた。

最近、スペイン・グレナダ大学による研究で、BPAより弱い、このBPFも女性ホルモンに悪影響を与える作用があるとの情報があるとの指摘がなされた。現時点で厚生省の調査などでBPFが人体に影響を及ぼしたという科学的な知見は得られていないが、社会的な影響を踏まえて、現在までに使用されている接着剤の河川での水質への影響についての現況を把握することとした。

この調査を進める上で最も障害となった問題は、BPFの分析方法について、まだ明瞭な試験方法として定められたものがない状態であった。このため分析手法の試行と確立を図ることも目的として、エポキシ樹脂系塗料塗装の標準的試験方法となっている「日本水道協会規格」¹⁾を準用して、河川水における接着剤のテストピースによる溶出試験を行った。また、これらと並行して実際に施工されている護岸を対象に河川水の水質調査を行った。なお、BPFの標準物質が国内では製品化されていない状況にあったことから急速BPFの精製を試薬メーカーに要請し、必要な純度の標準物質を入手することとした。

2. 調査内容

2.1 籠マットの改良工法の概要

図-1に籠マットの改良工法の概略図を示す。また、この改良工法の施工断面図を図-2に示す。

2.2 調査河川の概要

調査河川として籠マットの改良工法が施工されている忠別

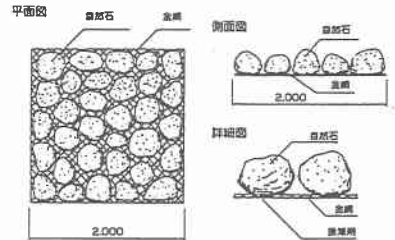


図-1 籠マットの改良工法の概略図

Influence of adhesives used for gabion mattress river revetment on water quality.

By Takashi TAMAGAWA, Yasuharu WATANABE, Kaoru TAKEDA, Akimasa SATO

川および鶴川の2河川を選定した。各河川の調査地点を
図-3および図-4に示す。

忠別川は1996年1月~1998年12月に神楽橋下流と美
瑛川合流前の2ヶ所で施工が実施されている。各工事区間
で実際に用いた接着剤は神楽橋下流がBPA、美瑛川合流前
がBPFとなっている。一方、鶴川は1997年7月にK.P11
付近でBPAを用いた施工が行われている。

調査河川の採水地点において、各施工区間の
上流部をバックランドとして、下流部を影響
範囲として河川水を採取した。この他、鶴川は
施工箇所の左岸から流入する支川で流下断面の
全体に籠マットの改良工法による護岸が施工さ
れているため、溶出の影響が高い箇所として、
予備的にこの支川においても流水を採取した。

さらに周辺への影響を把握するため、鶴川の
施工箇所に最も近い地下水の採水も行った。

調査の時期は、河川については8月~10月の
出水の影響が無いと判断される期間に
2回、地下水については1回それぞれ
採水を行った。

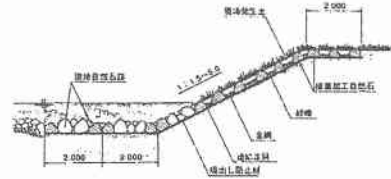


図-2 施工断面図



図-3 忠別川の調査地点概要図



図-4 鶴川の調査地点概要図

2.3 BPAの分析方法の概要

2.3.1 分析方法の概要

BPAはアセトンとフェノールを原
料として合成される。また、BPFはホルマ
リンとフェノールを合成して生成される。
図-5、図-6に各々の構造式を示す。

BPAの分析方法は、1998年10月に環
境庁から示された「外因性内分泌攪乱化学

物質調査暫定
マニュアル」

2)に示されて

いる。分析フ

ローを図-7に示す。

この方法は検水のpHを調整し固相
抽出後、酢酸メチル溶出濃縮後ヘキサ
ンに転溶、脱水乾固、KOH存在下でエ
チル誘導体化してGC/MS-SIM(ガス

クロマトグラフ質量分析装置)で測定する。また、この方法の特徴は、図-8に示すように極性の大き
なフェノール類を物理化学的に安定させ、極性の小さいフェネトール体に誘導体化するところにある。

一方、BPFは分析方法が無かったため、BPAの同属体であることから、BPAと同様にエチル誘導体
化が容易と考え、BPAの分析方法と同様な手法を試みた。その結果、図-9に示すフェネトール体に誘

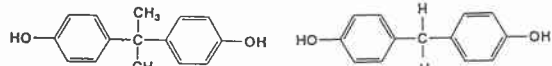


図-5 BPA

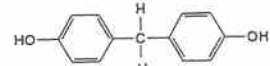


図-6 BPF

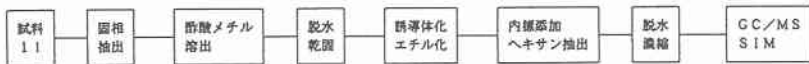


図-7 BPAの分析方法

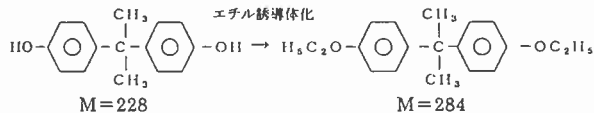


図-8 BPAのエチル誘導体化

誘体化が可能となることが判明した。

以上の結果からエチル誘導体化法を用いて、BPA および BPF の標準物質を添加することとした。その結果、図-10 のようなクロマトグラフが得られた。

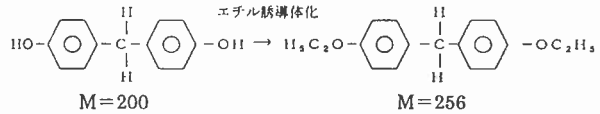


図-9 BPF のエチル誘導体化

2.3.2 質量スペクトルの解析による BPF の同定

GC-MS を用いて目的の化学物質を同定する方法として、その物質が示す質量スペクトルの化学構造に起因することに着目して推定する方法がある。図-10 は測定質量数 (m/z)40-400 のクロマトグラフである。測定時間中に BPF のエチル誘導体化による分子 $M=256$ と等しい $m/z256$ を含むピーク時間は 19:27 のみであった。そこで 19:27 のピークが BPF に起因したものであるかを確認するため、クロマトグラフに出現した保持時間 19:27 のピークの質量スペクトルを GC-MS によって同定することとした。その結果を図-11 に示す。

この質量スペクトルを見ると、測定質量数 (m/z) 400 までの中で検出された最も大きい m/z が 256 であり、これはエチル誘導体化した BPF の分子イオン $m/z256 (M^+)$ と一致する。通常、単純な開裂では質量数が偶数の分子イオンからは奇数質量数を持つピークが生じるが、図中に示したように $m/z227, 211, 199, 183$ など奇数の分子イオンが出現している。これらは予想される BPF の分子イオンが開裂してできたフラグメントイオンの質量数と一致する。

以上のことから保持時間 19:27 のピークは、エチル誘導体化した分子イオンであると確認された。

2.3.3 BPF の検量線の確認

分子イオン $m/z256(M^+)$ を定量イオン $m/z227$ の参照イオンとする検量線を図-12 に示す。分析上の良好な直線関

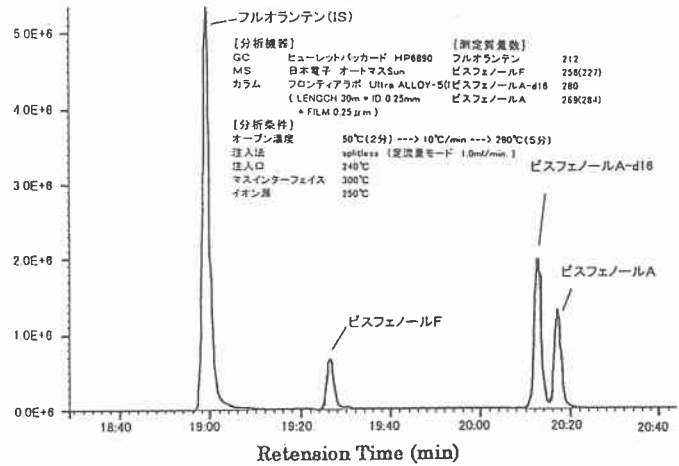


図-10 BPA、BPF のトータルイオンクロマトイオン

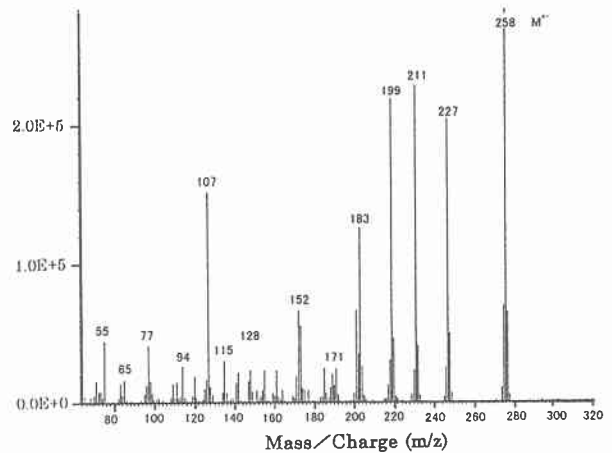


図-11 エチル誘導体化による BPF の MS スペクトル

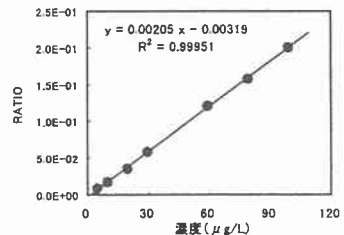


図-12 BPF の検量線

係が得られている。したがって、BPFは環境庁の暫定マニュアルによるBPAと同様な分析方法で分析可能であることが分かった。

2.3.4 BPFの分析精度

環境ホルモンは極微量物質として存在する。従って、これらの物質を測定するためには、その正確な分析値が得られていることが保証される必要があることから、分析精度管理試験を行った。

表-1 分析精度管理結果(検出下限値・定量下限値の設定)

繰り返し測定 物質名	標準液		ブランク	
	ビスフェノールA	ビスフェノールF	ビスフェノールA	ビスフェノールF
添加量 $\mu\text{g/L}$	30.24	29.64		
試水濃度換算値 $\mu\text{g/L}$	0.03024	0.02964	0.00059	0.00000
応答値(ピーク面積比)1	0.14838	0.04594	0.01379	0.00017
応答値(ピーク面積比)2	0.15132	0.04877	0.00145	0.00006
応答値(ピーク面積比)3	0.14967	0.04862	0.00436	0.00009
応答値(ピーク面積比)4	0.14769	0.04742	0.01249	0.00034
応答値(ピーク面積比)5	0.14519	0.04654	0.00589	0.00041
応答値(平均値)	0.14845	0.04746	0.14845	0.04746
応答値の標準偏差(σ)	0.00229	0.00125	0.00533	0.00015
検出力 D_n	0.00058	0.00097	0.00003	0.00000
検出下限値(3 D_n) $\mu\text{g/L}$	0.00174	0.00290	0.00008	0.00000
定量下限値(10 D_n) $\mu\text{g/L}$	0.00579	0.00967	0.00026	0.00000

表-1にBPAおよびBPFの結果を示す。BPAの検出下限値は $0.0017\mu\text{g/L} \approx 0.002\mu\text{g/L}$ で、環境庁による検出下限値 $<0.01\mu\text{g/L}$ を十分満足している。また、BPFは環境庁から検出下限値が示されていないが、今回の結果では $0.0029\mu\text{g/L} \approx 0.003\mu\text{g/L}$ となり、ややBPAより高くはなっているが、おおむね同程度の分析精度が得られているものと考えられる。

2.4 テストピースによる溶出試験

河川護岸に用いられた接着剤の溶出試験方法については、現行では特に定められていない。一方、日本水道協会が水道に使用する管類、鋼製水槽等の内面に塗装する樹脂類の衛生性について、自主基準を設定して素材の品質をチェックする試験方法(「水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」JWWAK 135-1989)がある。この日本水道協会の方法に準拠して、接着剤の溶出を標準的に評価するため、接着剤のテストピースを作成して同様の溶出試験を行った。ただし、溶媒は護岸施工河川の河川水を用いた。また、同一の河川水でテストピースを入れられないものを対照水としている。なお、比較のため精製水を用いた場合についても同様の試験を行った。図-13にそのフローを示す。

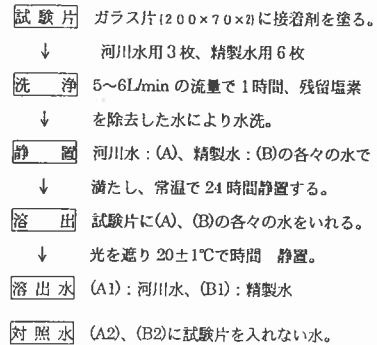


図-13 接着剤の溶出試験方法

3. 調査結果

3.1 テストピースによる溶出試験結果

表-2にテストピースによる溶出試験結果を示す。前述の品質基準では、フェノール類は $5\mu\text{g/L}$ 以下に定められているが、今回対象となった接着剤はBPA、BPFとも基準値を超えることはなかった。

3.2 河川の調査結果

河川および地下水の調査結果を表-3に示す。忠別川のBPAについては、第1回の忠別川神楽橋(参

表-2 テストピースによる溶出濃度 (単位: $\mu\text{g/L}$)

項目	忠別川(神楽橋)		鷺川(米原)		精製水	
	溶出水	対照水	溶出水	対照水	溶出水	対照水
ビスフェノールA	2.56	<0.01	4.25	<0.01	3.24	<0.01
ビスフェノールF	0.03	<0.01	-	-	0.04	<0.01

表-3 実河川における溶出濃度 (単位: $\mu\text{g/L}$)

河川名	区分	採水地点	位置	ビスフェノールA		ビスフェノールF		調査日
				第1回	第2回	第1回	第2回	
忠別川	本川	神楽橋	上流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	8/18
			下流	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	
	参宮護岸	上流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
		下流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
鷺川	本川	米原低水護岸	上流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	9/6
			下流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	支川	オルイカ川護岸	上流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	8/20
			下流	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	地下水	米原3号	右岸	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	9/20
			豊城3号	左岸	<0.01	<0.01	<0.01	

宮護岸)の下流で $0.02\mu\text{g/L}$ の濃度が検出された。しかし、それより下流部で採水した美瑛川合流前(参宮樋門護岸)の上下流の2箇所ではBPAは検出されていない。美瑛川合流前は使用された接着剤がBPFであるが、測定結果では検出下限値以下の濃度であった。

鶴川については、本川はもとより支川のオルイカ川や地下水の各調査箇所でもBPAは検出されなかった。

4. 考察

4.1 接着剤の溶出量の算定

4.1.1 テストピースによる単位面積当りの日溶出量の算出

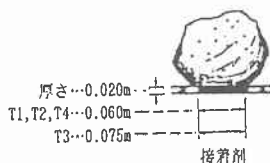
テストピースによる溶出試験結果を用いて、現地における単位面積当たりの日溶出量を算出した。その結果を表-4に示す。

表-4 テストピースの単位溶出量

河川名	種類	溶出濃度		試験片 cm^2	日溶出量 $\mu\text{g/L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{日}$
		$\mu\text{g/L}\cdot\text{day}$	$\mu\text{g/L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{日}$		
忠別川	BPA	2.56		504	50.8
	BPF	0.03			0.6
鶴川	BPA	4.25			84.3

4.1.2 籠マットの工法別による接着剤の表面積の算出

籠マットに使用している石材と接着剤の接合形状を図-14示す。これより各工法別による流水に接触する



施工護岸の単位面積当りの表面積を表-5のように算出した。

表-5 籠マットの工法別による接着剤の表面積

種別	タイプ	石材		接着剤の表面積	
		重量	個数	石材当り面積	護岸当り面積
		kg/m^2	個/ m^2	$\text{m}^2/\text{個}$	m^2/m^2
T1	200型	200	18	0.0188	0.3384
T2	セービング	100	9	0.0188	0.1692
T3	320型	320	7	0.0271	0.1897
T4	平石	200	9	0.0188	0.1692

4.1.3 施工河川の低水期による推定溶出濃度の算出

水質の環境基準は、河川の低水流量以上の場合に達すべき値として設定されている。すなわち河川では1年のうち75%以上の日数に対して環境基準が維持されるべき流量が「低水流量」となるため、これを接着剤の溶出濃度を推定するうえでの基準の流量とした。図-15に鶴川の米原低水護岸で鶴川橋流量観測地点から換算した場合の低水位の事例を示す。また、テストピースによって得られた接着剤の溶出濃度を用いて、調査河川に溶出する濃度を推定した。その結果を表-6に示す。

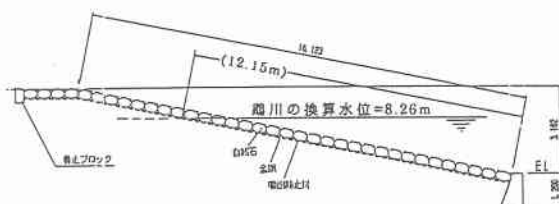


図-15 米原低水護岸の低水位の接触面

表-6 接着剤成分の調査河川への溶出濃度の推定

河川名	低水期		施工箇所	換算水位 m	接着剤		護岸の浸水面積			溶出濃度		日時間 sec/day	推定濃度 (計算値) $\mu\text{g/L}$
	流量	水位			種別	面積 m^2/m^2	延長 m	水位 m	計 m^2	$\mu\text{g/L}\cdot\text{day}$			
	m^3/s	m									たれ部		
忠別川 (大正橋)	7.91 (15年)	117.57 (25年)	神楽橋参宮護岸	111.24	T2	0.1692	300.19	4.00	0.41	1323.84	50.8	86400	0.01665
			美瑛川合流前	102.36	T4	0.1692	199.07	2.00	2.56	907.76	0.6		0.00013
鶴川 (鶴川橋)	10.62 (25年)	0.94 (3年)	米原低水護岸	8.26	T3	0.1897	60.00	0.00	12.15	729.00	84.3		0.01411
			オルイカ川護岸 (支川)	-	T1	0.3384	29.45	0.00	1.00	29.45			
					T4	0.1692			1.06	0.00	31.22		

4.2 調査河川での結果

今回の調査で河川の流水からビスフェノール類が検出されたのは1回目の忠別川神楽橋(参宮護岸)の下流のみであり、BPAが検出限界値をやや上回る $0.02\mu\text{g/L}$ が確認された。しかし、この施工区間か

ら下流、美瑛川合流前（参宮樋門護岸）の上下流の検水からは BPA は検出されていない。また、第 2 回目の調査では神楽橋（参宮護岸）の下流を含め全地点から、BPA は検出されなかった。前節で算出したテストピースによる溶出試験から、溶出した濃度を実際の施工河川の低水流況にあてはめて算出した場合、河川水への影響が $0.0166\mu\text{g/L}$ と推定される。この値は観測値とほぼ一致しており、護岸から BPA が溶出している可能性を示すものであるが、環境庁による BPA の検出下限値 $0.01\mu\text{g/L}$ をやや越えた程度で、定量下限値よりはるかに低い。仮にこの濃度が下流の本川である石狩川の伊納大橋を環境基準の評価地点とした場合、伊納大橋の低水流量(48年平均)が $61.69\text{m}^3/\text{s}$ であることから、忠別川の約 8 倍弱の希釈が起るため、その濃度は約 $0.002\mu\text{g/L}$ となり通常の分析手法上として検出されることはないものと考えられる。

また、この護岸は既に施工から 3 年半以上たっており、籠マットは約 30cm 程の堆砂で埋没されていた状況から、テストピースのように完全露出による面積での溶出レベルよりさらに溶出力が下がっているものと考えられる。このことから、第 1 回に検出された成分には流域内で様々に使用されているビスフェノール製品からの溶出の影響をかなり含んでいる可能性があるとも考えられる。昨年度、建設省河川局による「水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査」³⁾ で、石狩川水系の 18 地点で調査した BPA は 6 地点($0.01\sim 0.05\mu\text{g/L}$)で検出されている。

一方、BPF を使用した美瑛川合流前（忠別川）の計算上の溶出濃度は $0.000134\mu\text{g/L}$ となった。この値を仮に環境庁の BPA の検出下限値と同等とすると、その濃度は BPA の約 1/75 のレベルにあり、通常の分析手法では検出されることはないものと考えられる。鶴川の計算上の溶出濃度は $0.0141\mu\text{g/L}$ であり、環境庁の BPA の検出下限値より下回っている。

あとがき

BPF は、今回の調査結果から計算上では $0.000134\mu\text{g/L}$ の溶出量と推定されるが、この濃度は表-1 で実施した分析精度管理による検出下限値の $0.003\mu\text{g/L}$ より低い濃度であるため、現時点の分析方法では河川水中では検出されることはないものと考えられる。

忠別川の調査では BPA の 1 検体が検出下限値をやや上回る数値で検出された。しかし、テストピースによる溶出濃度を用いて計算上最も溶出する条件として推定した河川の濃度とほぼ同じ値となっている。しかし、実河川の護岸形状は現地の発生土によって被服されている現状から、実際の溶出量は少ないものと考えられる。護岸状況に応じた実際の溶出量は、今後さらに調査をしていく必要があるものと考えられる。

今回の調査で 1 検体が検出されたとはいえ、調査回数や調査地点が少なく、スポット的なものであるため、護岸によるものかあるいは流域からの影響によるものか定かではない。参考に平成 10 年度に建設省が実施した全国一級河川 109 水系での環境ホルモンの実態調査結果では、前期・後期で BPA が 4～6 割の水系で検出値を上回っている実態にある。

しかし、こうした成分が河川で検出されたとはいえ、現時点では検出された濃度でその BPA がいかなる作用を河川域の生物に及ぼすかは、研究レベルにおいてですら明らかにされていない。

今回の調査結果を参考とし、今後、継続的な調査を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 「日本水道協会規格」(JWWA K135-1989)、「水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」
- 2) 「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル」環境庁水質保全局水質管理課、平成 10 年 10 月 p. III-8
- 3) 「平成 10 年年度 水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査結果」について、建設省河川局河川環境課・下水道部流域下水道課、平成 11 年 3 月、p. 20

平成10年度 土木学会北海道支部奨励賞

昭和36年度に制定された土木学会北海道支部奨励賞授与規定により、平成10年度選考委員会委員としてつぎの5氏が支部長の委嘱を受け、平成11年3月11日藤田睦博氏を委員長とする選考委員会を開催し論文報告集第55号に掲載された284編の中から慎重審議の結果、つぎの3編を授賞の対象として選考し、平成11年4月16日の高議員会において、この3編に土木学会北海道支部奨励賞を授与することに決定した。

選考委員会委員長	藤田 睦博	北海道大学大学院工学研究科教授
選考委員会委員	能登 繁幸	北海道開発局開発土木研究所研究調整官
”	岸 徳光	室蘭工業大学工学部建設システム工学科教授
”	佐伯 昇	北海道大学大学院工学研究科教授
”	加賀屋誠一	北海道大学大学院工学研究科教授

(学 術 上)

受賞者名 三好 章仁
論文題名 衝撃的載荷重下の斜角を有したRC橋脚の挙動
(共著者：三田村 浩、佐藤 昌志、岸 徳光)

選考理由

都市内高架橋や跨線橋、河川橋梁は、その交差物の条件により斜角を有する場合がほとんどであるが、これまで斜角を有する橋脚模型実験は例が無く、その動的挙動は明らかにされていない。本研究は、斜角70度の橋脚に衝撃荷重を加える模型実験を実施し、ねじれ挙動、荷重-変形特性などについて考察したものである。

結果を要約すると、以下の通りである。

- ②斜角を有する橋脚の挙動は、パルス的な波形入力の直後にまず横軸方向へ最大応答加速度が生じ、その後斜角方向へ振動軸がシフトしながら回転運動となる。壁に損傷が発生すると、この回転運動はより顕著になる。
- ③壁左右の時刻歴加速度波形を重ね合わせると時間的ずれが生じており、弾性応答内でも左右加速度の相対的な差分によりねじりモーメントが発生している。
- ④実験で求められた最大耐力は、断面分割法における壁の弱軸と強軸を合成した耐力とほぼ同等な値となる。

このように、本研究では実験により矩形橋脚とは異なる挙動を明らかにしており、今後の橋梁耐震設計において有用な知見を与えている。よって本論文は土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学 術 上)

受賞者名 小室 雅人

論文題名 半剛結鋼骨組の動的挙動特性に関する一検討
(共著者：岸 徳光，松岡健一)

選考理由：

一般に鋼骨組の梁-柱の接合部は剛結接合もしくはピン接合と仮定して設計が行われている。しかしながら、実際の接合部は、溶接接合を除いて両者の中間的かつ非線形な剛性特性を有することが明らかになっている。そのため、実状に即した鋼骨組の限界状態設計法を確立するため、諸外国では接合部の非線形な剛性特性やその特性を考慮した構造解析法等に関する実験的・解析的研究が盛んに行われている。

このような背景より、著者らのグループは、半剛結鋼骨組の合理的な設計法の確立を目的として、半剛結接合部に関するデータベースの作成や接合部剛性評価式の提案、接合部の非線形特性を考慮した構造解析プログラムおよび有効座屈長係数の算定手法の提案など種々の検討を行ってきた。その結果、これまでの研究成果を有機的に組み合わせることにより、限界状態設計法に基づいた半剛結鋼骨組の静荷重に対する断面設計システムを構築している。しかしながら、地震多発国である我が国においては、静荷重時の他、地震等の動荷重に対する半剛結鋼骨組の挙動特性の把握は非常に重要なものと考えられる。一方、半剛結接合形式は大きな履歴減衰が期待できることから、耐震性向上の観点から優れた接合形式であることが明らかになっている。

本論文は、このような観点から、半剛結接合部の非線形な剛性特性を簡易的に線形パネに置換した場合について動的応答解析を試み、その挙動特性に関する検討を行ったものである。具体的には、一層一径間骨組を用いた定常加振解析および2種類の地震波形を用いた動的応答解析を行い、パネ剛性の違いによる骨組全体の挙動特性（応答加速度、応答変位など）に関する検討を行っている。

本研究は、半剛結接合骨組の耐震問題に関する基礎的な研究であるが、実験的研究や多層多径間骨組に関する応答解析等、実半剛結接合骨組の合理的な耐震設計法確立のための継続的な研究が期待される等、この種の構造物の耐震設計法確立に寄与するところ大であり、土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学 術 上)

受賞者名 渡部 靖憲

論文題名 波動場における矩形構造物まわりの渦構造

選考理由:

近年、多くの海岸構造物に波浪による海底侵食に起因する被害が報告され、特に防波堤頭部の被害が顕著にあらわれている。この原因は、この領域において従来の流体運動及び海底侵食の見積が適切ではないためであり、構造物にはたらく流体力及び海底侵食機構の解明が望まれている。本研究は、剥離が大きく影響する堤頭部に作用する流体力及び海底砂移動の直接的な外力である海底面に作用するせん断力の時空間変動特性を3次元Large Eddy Simulationにより明らかにしたものである。

結果を要約すると、以下の通りである。

- ・本研究で提案する計算法により、剥離、砕波による乱流等流体運動スケールが異なる非定常流速場を計算可能となった。
- ・堤頭部を通過する波浪は、構造物まわりに発生する大規模剥離渦だけでなく、通過時に構造物に乗り上げた水面の落下に伴う旋回渦及び水平渦が同時に生成される。特に海底侵食に大きく寄与する剥離渦は、波浪通過後水面の低下に伴って縮められるため渦強化がなされ、さらに底面砂の移動に寄与する。
- ・構造物の角部で動圧力が低下する。特に波浪通過後、この位置で大きな負圧が発生する。剥離渦が原因と考えられるこの急速な圧力変化は堤頭ケーソンの移動、倒壊に多大な影響を与える。
- ・実験的に報告されている侵食分布に類似した角部に集中するせん断力分布が得られている。波の通過を通して大きく変化するせん断力は、位相によって底質の移動特性が大きく異なる。

以上のことにより本研究は、海岸構造物の被災を未然に防ぐ設計法の確立のための基礎的研究として、今後の海岸工学及び港湾工学にとって非常に有益な知見を与えている。よって、土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。