早稲田大学大学院 学生員 伊藤 公一 早稲田大学理工学部 フェロ - 清宮 理 独立行政法人港湾技術研究所 正会員 下迫 健一郎 東亜建設工業株式会社 正会員 大木 泰憲

1.はじめに 衝撃的な波圧は,波面と構造物の衝突によって発生するものであり,海の構造物にとって考慮すべき 波圧である.この衝撃的な波圧が繰り返し作用すると,部材内に動的な応力応答が発生し,構造物の破壊につな。 がることが知られている.しかしこの衝撃的波圧は各種の条件下で性状が異なり,かつ非常に短い時間で作用す るため現象の把握が困難である、本研究は、大規模水路によって波による衝撃の基本的なデータを得ることを目 的としており,反射壁前面に鉄筋コンクリート製(RC)の版を置き,重複波の波面の衝突による揚圧力を作用させ ている 実験では、衝撃的波圧の波圧特性や RC 部材の動的応答特性の基本的な事項を検討している、その一方で, 衝撃波圧実験モデルに用いた試験体を対象に有限要素法プログラム SOLVIA を用いて , 動的応答解析を行い実験 結果の歪みとの比較を行った.

2.RC 版衝擊波圧応答実験

2.1 実験方法 図-1 に示すように全長 184m, 内幅 3.5m, 深さ 12mの 大規模水深水路内に,造波機から120m地点に反射壁を設置して重複波 を発生させ、反射壁の直前に設置した実規模の水平版に衝撃揚圧力を 作用させた.水深は5mで,実験波は規則波(波高75cm,周期3s)で あり,水面と RC 版のクリアランスは 30cm とした. 実験体は厚さd = 20cm,幅L_w = 40cm,長さL_B = 280cm(固定部を含め 342cm)の RC 部材であり,部材の内部には固定端部の補強として D13 鉄筋を上 下それぞれ3本・計6本,主鉄筋として D10 鉄筋を上下それぞれ4 本・計8本を10cm 間隔で入れている.また,コンクリートの圧縮強 度は設計値として 24N/mm²と定めた.水路で発生する衝撃波圧に対 して港湾の基準に従って配筋を行った.実験の計測は図-2,図-3に 示したように,波圧計20箇所(PA~PT),コンクリート表面歪みゲ ージ 5 箇所 (CA~CE), 鉄筋歪みゲージ 15 箇所 (鉄筋上面 RAU~ REU,鉄筋下面 RAL~REL)とした.

水平 RC 版 造波機 反射壁 クリアランス ð 揚圧力 20.0m 30.0m 19.3m 50 7m 図-1 大規模実験水路 8EB • FK FC P0 •70 •P5 25 PE8 •PH • FL •FM •PP •P1 • PD •FF • 19. • P1 121 図-2 波圧計の設置箇所 ひずみゲージに下皮底と巻下巻、コングリート映画 22/28 CERFUREI CORCURAT CARALIRAD TO RDI 10.000 2.2 実験結果 図-4 にあるように,波は初めに RC 版の中央部から衝突し, 図-3 歪みゲージの設置箇所 40.0 PG 30.0 PH



り、一番立ち上がりの鋭い波形(衝撃波の立ち上がりから、最大波圧の発生までの時間)の立ち上がり時間は 0.008s であった.図-5は,20点の波圧計の合力分布を示したものである.この合波力の最大値は TIME = 38.49s のとき 33.0kN(2.41N/cm²)を記録した.この合力では,衝撃波の特性ともいえる砕波圧成分と重複波圧成分が顕著に出 ない.つまり,各位置での衝撃波のピークが隠れ,重複波の合計となっていることが分かる.コンクリートの表 キーワード: 衝擊波圧,波圧実験,RC版,F.E.M

連絡先:〒169 8555 東京都新宿区大久保3-4-1 51号館16F-01 TEL&FAX03-5286-3852

造波機側・反射壁側・左右方向へ移行していた.

波が版全体に伝わるには 0.041s とかなり短い

時間であったといえるが , これはサンプリング

間隔(0.001s)を考慮すると,同時には波が版

には衝突していなかったといえ,最大波圧発生

には各計測位置で位相のずれがあったことが

わかる.また,衝撃波の継続時間は 0.09s であ

面歪みは 30 µ 程度と小さい値でありひび割れの発生には至らない.今回は波を実験ケースに応じて多数回作用さ せたがひび割れの発生は見られなかった.

3.有限要素法による解析 実験結果から波圧・合波力の実験体下面での移行状況が明らかになった.そこで,実験 により得られたコンクリート内部に埋め込まれた鉄筋の歪みの応答が数値解析値とどのように異なるかを検討す るため,有限要素法汎用プログラム SOLVIA を用いて動的応答解析を行った.解析方法の概要としては,有限要 素法により RC 版をモデル化し,三次元の梁と仮定した.また,荷重として図-4 に示した各計測地点の波圧計で 得られた実験波圧と図-5に示した波圧計の合力である合波圧を用いて,三次元の線形弾性解析を行った.

3.1解析モデル モデルとなる梁の寸法は,長さ342cm,厚さ20cm,幅40cmとし,内部の鉄筋の位置・長さ・直径 は実験のものを忠実に再現した.実験では梁が破壊しなかったことから線形解析で行い,三次元要素を用いた. 鉄筋コンクリート版は節点数11645,要素数1796の梁要素で置換した.境界条件は実験の再現を目指し,アンカー 部分を完全固定とし、それ以外はY・Z方向の変位、X軸回りの回転を自由とした、構造形式として、コンクリ ート部材では,ヤング率E=29.4kN/mm²,ポアソン比 =0.167,密度 =2.35E-6g/cm²,鉄筋部材では,ヤング率 E=205.9kN/mm², ポアソン比 = 0.3, 密度 = 7.85E-6g/cm²を与えた.また,版の剛性を考慮し,減衰率はRayleigt 減衰で与え , = 6.60E-1 , = 4.75E-4とした.数値積分の時間間隔は実験同様1.0×10⁻³で行った.ただし,実験 :結果では38.2s ~ 38.8sの0.6秒間を対象に検討しているが,動的解析ではプログラムの都合上38.4s ~ 38.7sの0.3秒間 を対象に行った.入力波形は実験で計測された波形を元にしており,20箇所の波圧計での計測値とその合波圧 の2通りを入力した.それぞれ簡略化のため波圧計と合波圧と以後呼ぶことにする.また,解析対象時間は38.4~ 38.7sの計0.3秒間とした. 表-1 版中央部・端部にみる歪み

3.2解析結果と実験結果の比較 ここに実験により計測された歪みと 解析により得られた歪みデータをそれぞれ版の端部であるAポイント と版の中央部であるCポイントに着目して比較してみる.表-1に実験 値,波圧計,そして合波圧の最大歪みを示す.図-6では鉄筋コンクリ ート全体における歪みの分布状況を示している.図-7,図-8ではコン クリート内部の上部鉄筋の上面における歪みを示した. 時間成分に 着目すると、実験で得られた歪みは各波圧計で計測された波圧を入力 条件としている歪みとほぼ同一挙動をしている.つまり版は個々の波 圧の波形に応答していたといえる.また歪みの大きさは,合波圧によ る歪みの方が個々の波圧による歪みよりやや大きくなっている.

4.まとめ (1) 波の移行状況や衝撃波の立ち上がり開始時間の各点間 の異なりから判断すると,RC版には三角形分布に類似した形状の波 圧が作用していた.

(2)衝撃波が作用するときには局 所的に大きな衝撃的波圧が発生 するものの, RC 部材への歪みに 対する影響は 30 μ 程度とそれほ ど大きいものではなく,部材の破 壊までは到達しなかった.





歪みゲージ		実験値	波圧計	合波圧
		応答値(µ)		
コンクリート	CA	-27.0	-28.2	-31.8
表面歪み	CC	31.6	17.4	18.0
上部鉄筋 歪み(上面)	RAU(上面)	-17.3	-28.9	-32.3
	RCU(上面)	12.2	20.1	20.9
上部鉄筋 歪み(下面)	RAU(下面)	-14.1	-24.7	-27.8
	RCU(下面)	8.5	14.9	15.2
下部鉄筋 歪み	RAL	12.5	9.8	10.2
	RCL	-22.9	-31.0	-34.5





(3) 衝撃的波圧のピークで構造設計

図-7 版端部における上部鉄筋歪み

図-8 版中央部における上部鉄筋歪み

を行うと現状では過大な設計となるが、多数の波が作用したときの疲労及び応力集中を生じやすい配筋方法見 直し等の検討と併せて,構造部材の適切な耐波設計を今後考える必要がある.

参考文献:高橋重雄他 衝撃波力による RC 板の破壊のメカニズムに関する基礎実験,海岸工学論文集 Vol.46, pp.811 - 815, 1999