

11320

# CHALMERS



11320

## Dynamic Behaviour of Reinforced Concrete Structures: Analyses with a Strong Discontinuity Approach

PER-OLA SVAHN

*Department of Civil and Environmental Engineering  
Structural Engineering, Concrete Structures*  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Göteborg, Sweden 2005

## Sammanfattning (Summary)

Armerad betong är ett vanligt förekommande byggnadsmaterial. För att utforma effektiva konstruktionslösningar och säkerställa befintliga konstruktioners verkliga mekaniska egenskaper, är det nödvändigt att öka kunskapen om avancerade konstruktionsberäkningar av armerade betongkonstruktioner. Karakteristiskt för betongkonstruktioner är närvaron av sprickor i såväl bruksgränstillstånd som brottgränstillstånd. Mikrosprickor i betong växer under belastning successivt samman till makrosprickor, varvid materialets draghållfasthet är uppnådd. Då propageringen av mikrosprickor fördröjs vid dynamisk belastning, uppvisar betongen en tydligt hastighetsberoende respons. En förenklad metod för bestämning av slagbelastad betongs draghållfasthet har föreslagits, men större del av arbetet behandlar emellertid analyser av armerad betong. Nedbrytning av betong modelleras i dagsläget med antingen en kontinuerlig eller en diskontinuerlig metod. I detta arbete har en diskontinuerlig metod tillämpats för både kvasistatiska och dynamiska belastningar, och den klassiska *fiktiva sprickmodellen* (FCM) är generellt implementerad genom att utnyttja *extended finite element method* (X-FEM). Den mekaniska responsen av kontinuumet är modellerat med ett isotropt elastiskt material, medan responsen av mellanliggande brottzoner är samlade i (fiktiva) kohesiva sprickor. Responsen av de icke-linjärt mjuknande kohesiva sprickorna är här modellerade med en ny hastighetsberoende konstitutiv modell baserad på anisotrop skada kopplad till plasticitet. De kontinuerliga sprickorna är modellerade i X-FEM som skarpa diskontinuiteter i förskjutningsfältet, och deras mekaniska egenskaper är beaktade genom att införa samband mellan spänning och spricköppning. Det diskontinuerliga förskjutningsfältet i X-FEM är uppbyggt på ett nytt sätt genom att kombinera kontinuerliga standardbasfunktioner med kompletterande diskontinuerliga motsvarigheter. X-FEM uppvisar mycket goda kinematiska egenskaper. Avgörande för diskontinuerlig modellering är bland annat tillvägagångssättet vid införandet av diskontinuiteterna. För att avgöra om en spricka skall introduceras används ett hastighets- och tryckberoende brottkriterium av *Mohr-Coulomb* typ, med en gradvis övergång mellan drag- och skjubbrott. Riktningen på den propagerande diskontinuiteten bestäms med det klassiska *Mohr-kriteriet*. En viktig del av arbetet är tillämpningen av diskret modellering på vanligt förekommande armerade betongkonstruktioner, belastade med såväl statisk som dynamisk belastning. Analyser av betongpålar som belastas med dragvågor har genomförts. Vidare har kvasistatiska och dynamiska analyser av trepunktsbelastade förspända betongsliprar genomförts och jämförts med experimentella resultat.

**Nyckelord:** betong, armering, X-FEM, kohesiv spricka, anisotrop skada, hastighetsberoende, stötvåg, järnvägsslipor, förspänning

# Contents

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Sammanfattning (Summary)</b>	<b>v</b>
<b>Contents</b>	<b>vii</b>
<b>Preface</b>	<b>ix</b>
<b>List of publications</b>	<b>xi</b>
<b>Notation</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Background . . . . .	1
1.2 Aim, scope and limitation . . . . .	4
1.3 Scientific approach and methodology . . . . .	4
1.4 Original features . . . . .	4
1.5 Outline of the thesis . . . . .	5
<b>2 Modelling of concrete</b>	<b>7</b>
2.1 Introduction . . . . .	7
2.2 Discontinuous and continuous failure representation . . . . .	7
2.3 Static and dynamic loading conditions . . . . .	10
2.4 Constitutive modelling . . . . .	12

<b>3</b>	<b>Finite element modelling of reinforced concrete</b>	<b>15</b>
3.1	Introduction . . . . .	15
3.2	Remeshing and incipient discontinuity methods . . . . .	16
3.3	Elements with embedded discontinuities . . . . .	16
3.4	The extended finite element method . . . . .	18
3.5	Embedded reinforcement . . . . .	20
3.6	Solution procedures . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Applications to reinforced concrete structures</b>	<b>27</b>
4.1	Introduction . . . . .	27
4.2	Impact loading of reinforced concrete piles . . . . .	28
4.3	Bending of reinforced concrete beams . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Conclusions and future research</b>	<b>37</b>
	<b>References</b>	<b>41</b>
	<b>Appended Papers</b>	
	Paper I	
	Paper II	
	Paper III	
	Paper IV	
	Paper V	