

せん断補強筋の配置間隔が異なる軽量コンクリート RC 梁の耐衝撃性状

Influence of arranging intervals of shear rebar on impact for behavior of LW-RC beams

ドービー建設工業(株)	○正 員	竹本 伸一 (Shin-ichi Takemoto)
室蘭工業大学	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
三井住友建設(株)	フェロー	三上 浩 (Hiroshi Mikami)
(独)北海道開発土木研究所	正 員	今野 久志 (Hisashi Konno)

1. はじめに

近年、道路橋や鉄道橋等の上部構造の軽量化を図ることを目的として、新しい構造形式の開発のみならず、新しい材料の開発およびその適用性検討が盛んに行われるようになってきた。このうち、新材料として期待されているものの一つに、粗骨材に焼成人工軽量骨材を用いたコンクリート¹⁾(以後、軽量コンクリート)がある。焼成人工軽量骨材(以後、軽量骨材)は、24時間吸水率が9～11%と小さく、比重が1.2～1.3と小さいにもかかわらず圧壊荷重が1,000 N以上あること、この骨材を用いて35～65 MPaの圧縮強度を有するコンクリートの製造が可能であること、有害化学物質を含まないこと、塩分を含まずアルカリ骨材反応の心配がないこと等、従来の人工軽量骨材に比べて格段に高品質化している。

このようなことから、軽量コンクリートの実用化を目指して、梁や柱部材に関する静的な曲げおよびせん断耐荷性状に関する実験的・解析的研究が一部の機関で実施されている^{2),3)}。一方、耐衝撃性に関する研究も、矩形RC梁を対象に著者らによって実施されている⁴⁾。その結果、1) 曲げ破壊型の場合の動的応答性状や耐衝撃性は普通コンクリートを用いる場合と同程度であること、2) 数値解析的には、実測値の引張強度を用いることにより、普通コンクリートを用いる場合と同様の手法で解析可能であること⁵⁾、3) せん断補強筋の無いせん断破壊型RC梁の終局時の最大支点反力に対する静的せん断耐力の比(動的応答倍率)は2.3前後、吸収エネルギー比は0.7程度になること⁶⁾、4) コンクリートの引張強度を圧縮強度の1/16程度とすることでせん断補強のないRC梁の耐衝撃挙動解析が大略可能であること⁷⁾等が明らかになっている。これより、軽量コンクリートを用いたRC梁の衝撃曲げ耐力の算定は実務的に可能となっている。一方、衝撃せん断耐力を算定するためにはコンクリートと鉄筋による分担力のみなら

ず、せん断補強筋によるを明確にする必要がある。

このような観点より、本研究では軽量コンクリートを用いたRC梁のせん断補強筋を配置した場合のせん断耐荷性状を明らかにすることを目的に、せん断補強筋比を変化させた場合の重錘落下衝撃実験を実施した。本研究では、同一断面形状のRC梁において、せん断補強筋のみを変化させた3種類、全12体を製作して実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、軽量コンクリート(Light-Weight Concrete)を用いたRC梁(以後、LW梁)の形状寸法および配筋状況の一例を示している。本実験に用いた試験体は、断面(梁幅×梁高)が230×320 mmの複鉄筋矩形RC梁である。上端鉄筋にはD25を用い、下端鉄筋には曲げ耐力を大きくするために、直径26 mmの総ネジPC鋼棒(ゲビンデスタープ)(以下、G26)を用いている。本研究では、せん断補強筋を配置しない場合の他、D6のせん断補強筋を140 mm、70 mm間隔で配置する場合について実験を行った。表-1には、試験体の一覧を示している。試験体名は軽量コンクリートを表すLWとせん断補強筋の配置間隔(mm)を組み合わせて示している。表中の計算静的曲げ耐力 P_{usc} および静的せん断耐力 V_{usc} は、土木学会コンクリート標準示方書⁸⁾(以後、示方書)に基づき算定している。各試験体は、せん断余裕度 $\alpha (=V_{usc}/P_{usc}) < 1.0$ であることより、静載荷時に設計的にはせん断で破壊することが予想される。なお、 V_{usc} 値は示方書に基づき計算値の70%に低減して評価している。せん断補強筋間隔は、有効高さの1/2、1/4に設定している。また、表中には別途実施した静載荷実験結果の実測せん断耐力 P_{us} および P_{us} を P_{usc} で除して算定した実せん断余裕度 $\alpha' (=P_{us}/P_{usc})$ も合わせて示している。実測せん断耐力 P_{us} は計算せん断耐力 V_{usc} の

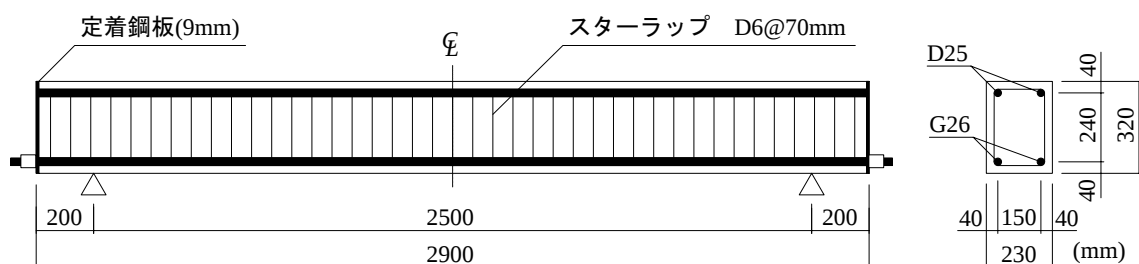


図-1 試験体概要図 (LW70)

表-1 試験体の一覧

試験体名	せん断補強筋比 P_s	せん断補強筋の有無とその間隔 (mm)	主鉄筋比 P_t	せん断スパン比 a/d	静的せん断耐力 V_{usc} (kN)	静的曲げ耐力 P_{usc} (kN)	せん断余裕度 α	実測せん断耐力 P_{us} (kN)	実せん断余裕度 α'	衝突速度 V (m/s)
LW0	0	無し	0.016	4.46	98.8	393.4	0.25	140.5	0.36	3, 3.25, 3.5, 4
LW140	0.197	140			172.4		0.44	291.6	0.74	5.5, 5.75, 6, 6.5
LW70	0.393	70			246.0		0.63	385.5	0.98	7.5, 7.75, 8, 8.5

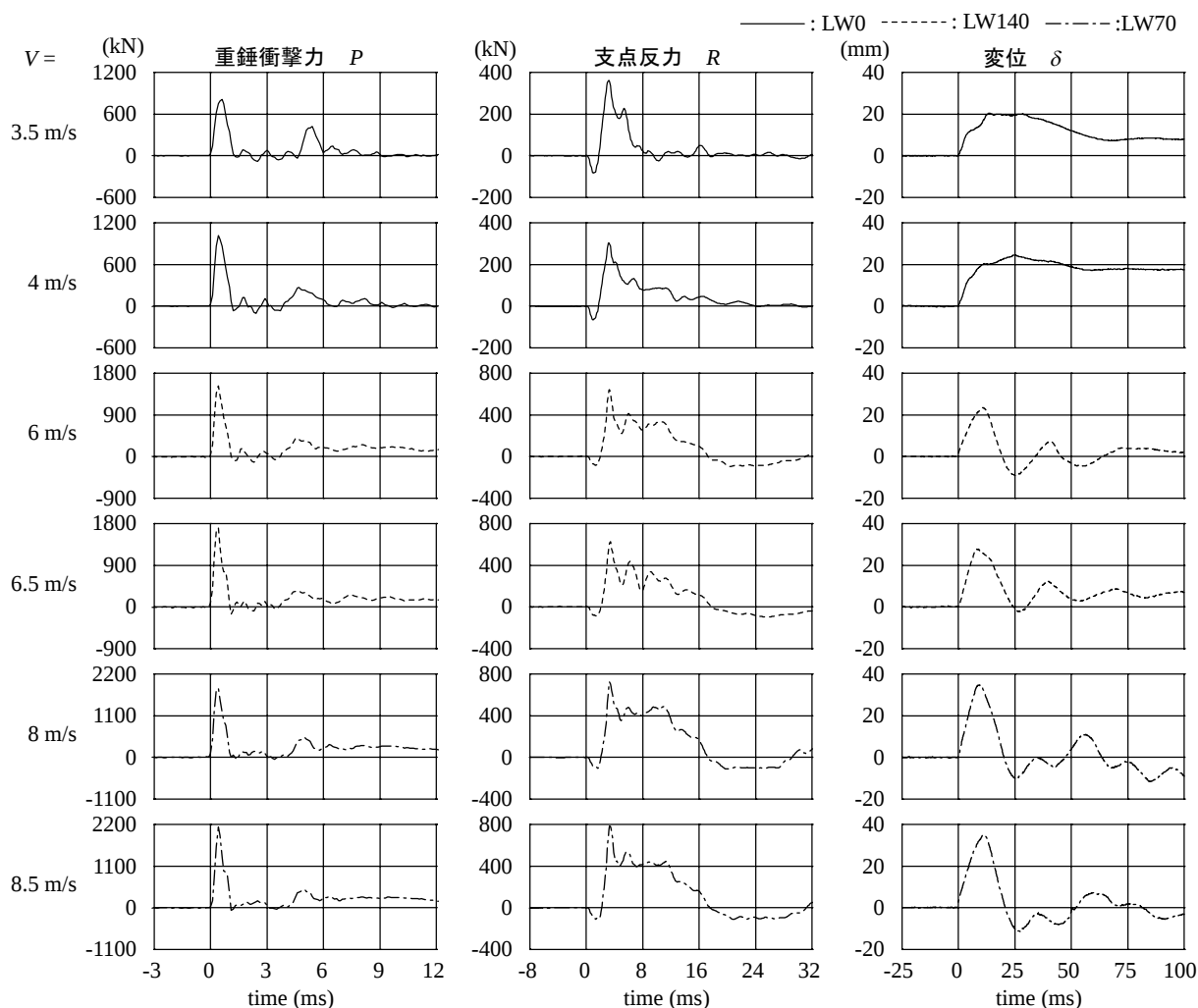


図-2 各種応答波形

1.4～1.7倍となっている。実験時の軽量コンクリートの力学的特性値としては、材齢59日、圧縮強度38.4 MPa、引張強度2.66 MPaで、D25鉄筋の降伏強度は382 MPa、G26ゲビデスターブの降伏強度は1049 MPaであった。軽量コンクリートには、寸法10～15 mm程度の軽量骨材（比重1.20）を粗骨材として用いている。軽量コンクリートの比重は1.88で、普通コンクリートの80%程度となっている。また、引張強度は圧縮強度の1/15程度であり、普通コンクリートに比べて小さい。

2.2 実験方法

実験は、リバウンド防止用治具付の支点治具上に設置したRC梁のスパン中央部に所定の高さから一度だけ重錘を自由落下させる単一載荷法により実施している。治具全体は回転のみを許容するピン支持に近い構造である。重錘は質量400 kgで載荷点部直径が150 mmの円柱状鋼製重錘であり、その底部には片当たりを防止するために2 mmの球

状のテーパが施されている。測定項目は、重錘衝撃力 P 、合支点反力 R （以後、支点反力）および載荷点変位 δ （以後、変位）波形である。実験終了後には、RC梁側面に生じたひび割れをスケッチしている。

3. 実験結果および考察

3.1 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図-2には、各RC梁の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する各種応答波形を示している。なお、時間軸は重錘衝撃力が励起した時点を0 msとして整理した。

図より、重錘衝撃力波形 P は各梁とも衝突速度 V にかかわらず衝撃初期に振幅が大きく継続時間が1 ms程度の第1波とその後の振幅が小さく継続時間の長い第2波からなる分布性状を呈していることが分かる。

支点反力波形 R は、各梁ともに継続時間が8～18 ms程度の三角形波と短周期の波形が合成された分布性状を示し

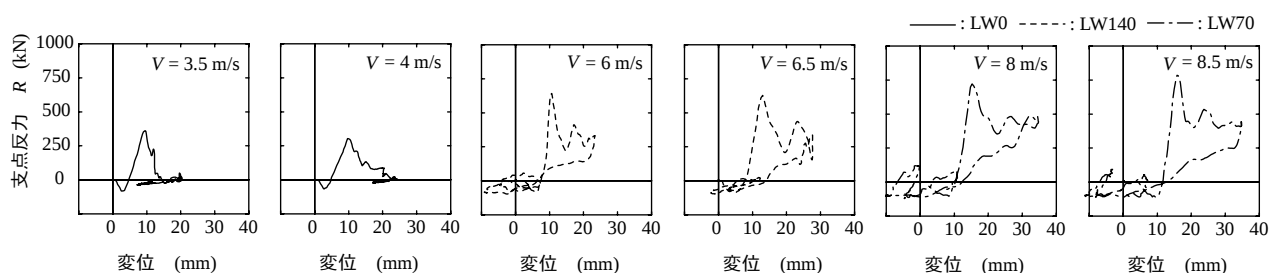


図-3 支点反力-変位履歴曲線

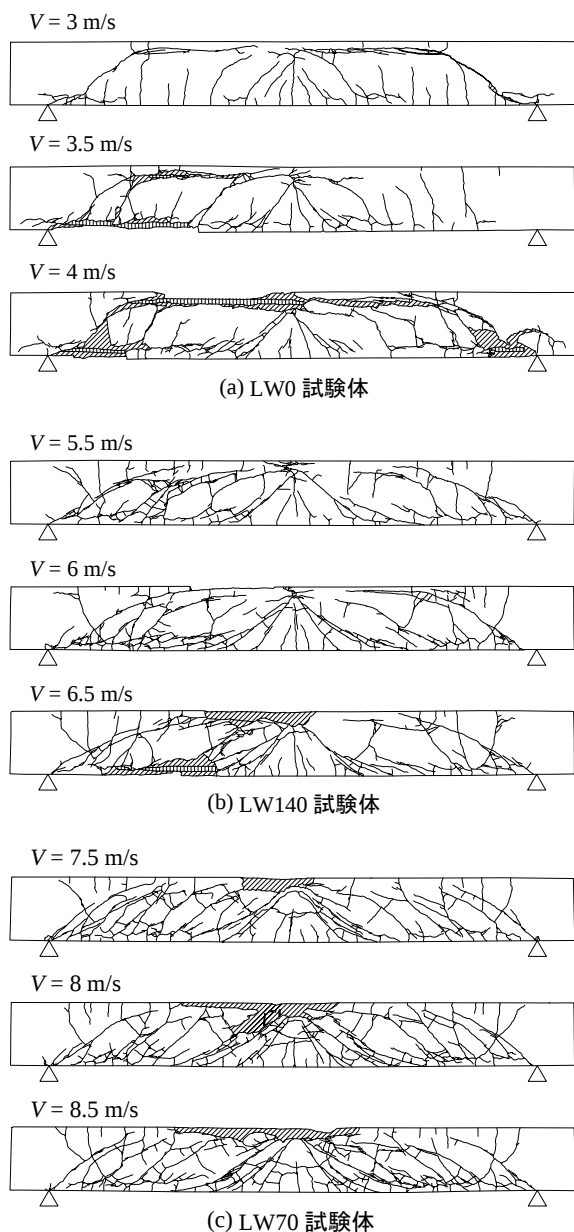


図-4 実験終了後のひび割れ分布性状

ている。なお、せん断補強筋比が大きくなるほど、三角形波は台形状あるいは正弦半波状に近づく傾向が認められる。これは、せん断補強筋比が大きくなるほど曲げのモードが支配的となり、全体応答が卓越するためと推察される。

変位波形 δ は、LW0 梁を除いて正弦減衰波状の波形性状を示している。LW0 梁は $V = 3.5 \text{ m/s}$ において既に大きな変位が残留し、ほとんど振動状態を示していない。この

ことから、 $V = 3.5 \text{ m/s}$ において著しく塑性化していることがうかがえる。一方、LW140/70 梁では、 $V = 6 \text{ m/s}$ 以上の衝突速度においても振動状態を示し、残留変位も少ないことから、梁としては未だに全体応答可能な状態にあることが分かる。

3.2 支点反力-変位履歴曲線

図-3 には、各梁の $R-\delta$ 曲線を示している。LW0 梁の $V = 3.5 \text{ m/s}$ の場合には、せん断破壊型特有の三角形分布を示している。しかしながら、 $V = 4 \text{ m/s}$ では三角形の分布を示すものの再度載荷状態となり、それに対応して変位も多少増加している。また、残留変位は $V = 3.5 \text{ m/s}$ よりも大きくなり、破壊がより著しくなったことが分かる。LW140 梁の $V = 6 \text{ m/s}$ の場合には、衝撃初期に三角形の分布を示すものの、せん断補強筋の効果によって後続の波形が励起され、その後変位は原点近くにまで復元している。衝突速度を増加させた $V = 6.5 \text{ m/s}$ を $V = 6 \text{ m/s}$ と比較すると、 $V = 6.5 \text{ m/s}$ は衝撃初期の立ち上がり勾配が多少ゆるやかとなり、衝撃荷重除荷後の残留変位が大きくなったことから塑性化が進行したものと考えられる。LW70 梁の場合には、LW140 梁とほぼ同様な分布性状を示す。しかしながら、LW70 梁の $V = 8.5 \text{ m/s}$ において衝撃初期に三角形の分布を示すものの、変位が増加し、かつ平行四辺形的な分布性状を呈しており、曲げ破壊的な傾向を示していることが分かる。

3.3 ひび割れ分布性状

図-4 には、実験終了後におけるひび割れ分布性状を衝突速度 V 毎に示している。LW0 梁の場合には、荷重点部から支点部へと進展するアーチ状のせん断ひび割れが発生している。このひび割れ分布性状は衝突速度 V が増加するにつれて顕在化し、 $V = 3.5 \text{ m/s}$ 以降では下縁かぶりコンクリートの剥落が見られ、脆性的なせん断破壊に至っていることが分かる。一方、せん断補強筋を有効高さの $1/2$ に配置した LW140 梁の場合には、荷重点部から支点部へ向けてアーチ状および斜めひび割れが発生していることが確認できる。また、ひび割れは LW0 梁に比べて梁全域に分散している。 $V = 6.5 \text{ m/s}$ では荷重点部および下縁かぶり部のコンクリートが大きく剥落している。この様なひび割れ性状を示しているものの、応答変位波形は正弦減衰波状を示し、かつ除荷課程において変位が大きく復元していることから、梁としては未だ限界状態には至っていないものと考えられる。せん断補強筋を有効高さの $1/4$ に配置した LW70 梁の場合には、荷重点部からアーチ状および斜めひび割れが多数発生し、衝突速度 V の増加とともに梁上縁コンクリートの剥落範囲が広がる傾向にある。また、LW0/140 梁と比較すると、LW70 梁では下縁かぶりコンクリートの

表-2 終局時における各梁の静的・衝撃実験の結果

試験体名	衝撃実験		静載荷実験		動的 応答倍率 R_{ud}/P_{us}	せん断補強筋の 動的 応答倍率 R_{sd}/P_{sd}	最大 支点反力比
	最大 支点反力 R_{ud} (kN)	せん断補強筋の 分担耐力 R_{sd} (kN)	実測静的 せん断耐力 P_{us} (kN)	せん断補強筋の 分担耐力 P_{sd} (kN)			
LW0-3.5	361.9	-	140.5	-	2.57	-	1
LW140-6.5	628.2	266.3	291.6	151.1	2.15	1.76	1.74
LW70-8.5	785.0	423.1	385.5	245.0	2.04	1.73	2.17

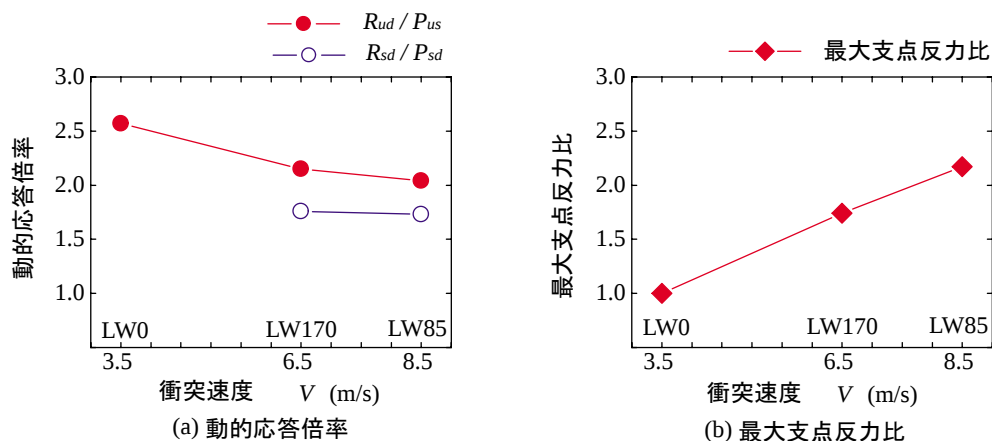


図-5 動的応答倍率および最大支点反力比

剥落が見られない。これは、せん断補強筋が主鉄筋に沿った割裂ひび割れの進展を抑制しているためと考えられる。なお、LW70 梁も LW140 梁と同様に、応答変位波形や支点反力-変位履歴曲線からは未だ限界状態には至っていないものと推察されるが、梁側面のひび割れ性状から、各々 $V=6.5$ m/s, $V=8.5$ m/s を終局とみなして以後の考察を進めることとする。一方、LW0 梁の終局は、応答変位波形や履歴曲線およびひび割れ性状から、 $V=3.5$ m/s である。

3.4 せん断補強筋による衝撃耐力向上効果の検討

表-2 には、LW0/140/70 梁の終局衝突速度を $V=3.5/6.5/8.5$ m/s 時点とした際の、最大支点反力および別途実施した静載荷実験により得られた実測静的せん断耐力を示している。なお、LW140/70 梁に関してはせん断補強筋による動的・静的分担耐力を併せて示している。また、図-5 には動的応答倍率および最大支点反力比を衝突速度 V の関係を示した。(a) 図より、動的応答倍率 R_{ud}/P_{us} はせん断補強筋量が増加すると小さくなる傾向にある。これは、せん断補強筋を配筋することにより、梁の破壊モードが曲げ型に変化したためと考えられる。それに対して、せん断補強筋の動的応答倍率 R_{sd}/P_{sd} は補強筋量にかかわらず、同程度の値を示している。(b) 図より、せん断補強筋を配筋している梁の LW0 試験体を基準とした最大支点反力比(動的耐力比)は、せん断補強筋量に対応して、ほぼ線形的に増大していることが分かる。

4. まとめ

本研究では、せん断補強筋の有無およびその量を変化させた軽量コンクリートを用いたせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性状について検討を行った。本研究の範囲内で得られた結果は以下の通りである。

- (1) せん断補強筋を増加させることにより、梁の破壊モードはせん断破壊型から曲げ破壊型へ移行する。

- (2) 梁の動的応答倍率はせん断補強することで低下するが大略 2 程度である。また、せん断補強筋の動的応答倍率はほぼ同様である。
- (3) せん断補強筋量にほぼ比例して最大支点反力比(動的耐力比)は増大する。

参考文献

- 1) 人工軽量骨材アサノライト, 太平洋マテリアル(株)
- 2) 岡本享久, 早野博幸, 柴田辰正: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, Vol.36, No.1, pp.48-52, 1998.1
- 3) 二羽淳一郎, 岡本享久, 前堀伸平: 高品質軽量コンクリートの構造部材への適用, コンクリート工学, Vol.38, No.12, pp.3-9, 2000.12
- 4) 竹本伸一, 岸 徳光, 安藤智啓, 松岡健一: 高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.1339-1344, 2001.6
- 5) 岸 徳光, 安藤智啓, 松岡健一, 竹本伸一: 高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁に関する弾塑性衝撃応答解析, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.1267-1277, 2003.3
- 6) 竹本伸一, 岸 徳光, 今野久志, 松岡健一: 軽量コンクリートを用いたせん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性に及ぼすせん断スパン比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, pp.1183-1836, 2003
- 7) 岸 徳光, 三上 浩, 松岡健一, 竹本伸一: 軽量コンクリートを用いたせん断補強筋のないせん断破壊型 RC 梁の重錘落下衝撃挙動解析, 構造工学論文集, Vol.50A, 投稿中
- 8) コンクリート標準示方書(2002 年制定) 構造性能照査編, 土木学会, 2002